В радиолюбительской практике часто возникает необходимость использования в своих разработках различного рода переключателей и манипуляторов. Большинство таких узлов использует традиционные контактные группы, реле и переменные резисторы. Однако, в настоящее время стали доступными для радиолюбителей полупроводниковые приборы и интегральные схемы, управляемые магнитным полем. Эти элементы позволяют создавать бесконтактные управляющие устройства, отличающиеся длительным сроком службы и малыми габаритными размерами.

В данной статье приводятся конструкции нескольких вариантов бесконтактных магнитоуправляемых переключателей и манипуляторов, реализация которых возможна в радиолюбительских условиях.

Михаил Бараночников
г. Москва
E-mail: **baranochnikov@mail.ru**

Бесконтактные магнитоуправляемые переключатели и манипуляторы

В настоящей статье под термином "манипулятор" мы понимаем устройство, которое преобразует движение руки оператора в электрический аналоговый или цифровой сигнал.

Сфера применения бесконтактных манипуляторов достаточно широка: вычислительная и бытовая техника, игрушки, медицинская и военная аппаратура, системы дистанционного управления различными объектами, системы автоматизированного управления технологическими процессами и др.

Следует отметить, что бесконтактные магнитоуправляемые манипуляторы имеют очевидные преимущества перед широко используемыми в настоящее время оптическими устройствами. Они не требуют энергозатратных источников излучения, не боятся грязи и пыли, работоспособны в агрессивных средах и т.п.

Принцип действия магнитоуправляемых манипуляторов широко известен и сводится к изменению положения управляющего постоянного магнита (ПМ) относительно магниточувствительного элемента преобразователя магнитного поля (ПМП), что, в свою очередь, приводит к изменению (или появлению) сигнала на выходе преобразователя магнитного поля [1].

1. Что удалось приобрести и исследовать

Из наиболее доступных и практически пригодных для самостоятельной разработки бесконтактных манипуляторов можно отметить следующие ПМП: дискретные датчики Холла и магниторезисторы, униполярные магнитоуправляемые (МУМ) и магниточувствительные (МЧМС) интегральные схемы. С принципом работы этих устройств можно познакомиться в соответствующей литературе [1].

В порядке подготовки данной статьи автором были исследованы следующие типы ПМП:

1. Кремниевые бескорпусные датчики Холла типа ДХК-05 и ДПМ-1;
2. Арсенид-галлиевые бескорпусные датчики Холла типа ПХИ-611;
3. Кремниевые магниточувствительные интегральные схемы типа SS495A фирмы Honeywell и типа AD22151 фирмы Analog Devices;
4. Магнитоуправляемые униполярные ИС серии К1116 (К1116КП1, К1116КП2, К1116КП3, 1116КП6, К1116КП9, К1116КП10);
5. Магнитоуправляемые ИС типа SS443A PBF, SS443A и 2SS52M-T2 фирмы Honeywell;
6. Кремниевые полевые элементы Холла (ПДХ) в корпусе типа 401.14-3;
7. Кремниевые двухкристальные ПДХ в корпусе типа 401.14-3;
8. Кремниевые четырехэлементные ПДХ в корпусе типа 401.14-5;
9. Монолитные магниторезисторы типа СМ4-1;
10. Тонкопленочные магниторезисторные мосты типа KMZ10A и KMZ41 фирмы Philips.

Основные параметры указанных преобразователей магнитного поля приведены в соответствующей литературе [2].

В порядке исследования преобразователей магнитного поля оценивалась координатная чувствительность аналоговых ПМП и расстояние срабатывания/отпускания магнитоуправляемых ИС.

Процесс определения координатной чувствительности ПМП сводился к контролируемому перемещению "точечного" источника магнитного поля относительно плоскости магниточувствительного элемента (МЧЭ) с одновременным измерением напряжения сигнала (U_C) преобразователя магнитного поля. Сканирование поверхности МЧЭ осуществлялось поочередно по двум осям: "X" и "Y". Напряжение сигнала (U_C) измерялось через каждые 0,1 мм.

В качестве "точечных" источников магнитного поля использовались два миниатюрных постоянных магнита (ПМ), размеры которых определялись чисто прагматическими соображениями. Один, наиболее доступный и качественный магнит с размерами диаметром 3x3 мм из сплава "неодим-железо-бор". Величина индукции порядка 130 мТл. Другой – с размерами 1x1x10 мм из сплава "альнико". Величина индукции порядка 20 мТл.

Типовая координатная характеристика для аналогового преобразователя магнитного поля имеет вид, напоминающий "синусоиду". В практических целях внимание автора фиксировалось на трех "стандартных" уровнях напряжения сигнала: "0,1", "0,5" и "0,8". Для реализации ПМП в составе манипулятора был принят уровень "0,8".

По результатам оценки координатной чувствительности исследованных типов ПМП были сделаны следующие выводы:

1. Область 80%-ой чувствительности приборов при сканировании МЧЭ "точечным" источником магнитного поля зависит от магнитной чувствительности ПМП, геометрических размеров магнита, величины воздушного зазора и размеров магниточувствительного элемента.

2. При площади сечения "точечного" источника МП порядка S = 7 мм² (диаметр 3 мм) и рабочем зазоре 3 мм – область 80%-ой чувствительности ПМП находится в пределах от 2,2 до 4,6 мм и, практически, не зависит от размеров МЧЭ.

3. При площади сечения "точечного" источника МП S = 1 мм² и рабочем зазоре 1 мм область 80%-ой чувствительности ПМП уменьшается приблизительно в два раза, находится в пределах от 1,2 до 2,9 мм, и зависит от конструкции приборов (размера МЧЭ, наличия ферритовых концентраторов, коваровых подложек и выводных рамок и т.п.).

4. Расстояние срабатывания магнитоуправляемых микросхем зависит от параметров ИС и применяемого управляющего магнита. При использовании постоянного магнита диаметром 3х3 мм с индукцией порядка 130 мТл расстояние срабатывания находится в пределах от 0,5 до 5 мм – при перпендикулярном воздействии, и от 0,6 до 4,5 мм – при сдвиговом воздействии. При этом гистерезис находится в пределах от 0,2 до 1 мм.

5. Наиболее пригодными для дальнейших исследований автором были определены следующие ПМП: дискретные элементы Холла типа ПХИ-611, магнитоуправляемые ИС типа К1116КП3, К1116КП9, SS443A PBF, SS443A, магниточувствительные микросхемы типа SS495A и AD22151, магниторезисторные мосты KMZ10 и KMZ41, имеющие достаточно высокую магнитную чувствительность и геометрическую разрешающую способность, а также 2-х кристальные и 4-х элементные полевые элементы Холла (ПДХ).

2. Варианты технической реализации магнитоуправляемых переключателей и манипуляторов с использованием одноэлементных ПМП

Ниже приводятся несколько примеров технической реализации манипуляторов с использованием доступных ПМП.

В качестве управляющих элементов в предлагаемых устройствах, как правило, использованы высококачественные миниатюрные постоянные магниты из сплавов "неодим-железо-бор" и "самарий-кобальт". Выбор типа магнита определялся исходя из задачи построения конкретного устройства и возможности приобретения ПМ в радиолюбительских условиях.

Величина индукции постоянного магнита регламентировалась значениями индукции срабатывания/отпускания МУМ и магнитной чувствительностью аналоговых ПМП (датчиков Холла, МЧМС и магниторезисторов).

Следует отметить, что постоянные магниты из сплава "неодим-железо-бор", покрытые слоем гальванического никеля, в процессе эксплуатации заметно разрушаются с разрушением этого покрытия. Поэтому новый магнит сразу же защищался слоем эпоксидного лака.

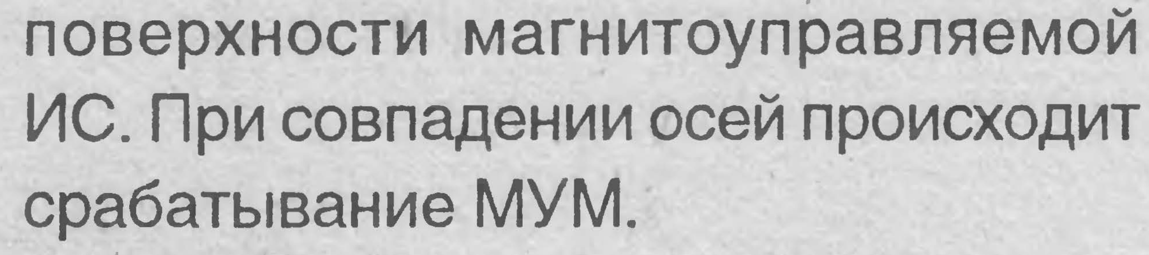
В большинстве макетов использовались импортные комплектующие, в том числе многооборотные подстроечные и чип-резисторы.

В целях экономии времени и средств работа проводилась на макетах предлагаемых устройств. Названия устройств носят условный характер.

2.1. Бесконтактный переключатель на основе П2К

Конструктивная схема переключателя приведена на **рис. 1**.

Принцип работы конструктивной схемы, приведенной на **рис. 1**, очевиден и не требует особых пояснений. Нажатие на клавишу приводит к перемещению штока с закрепленным на нем постоянным магнитом относительно магниточувствительной


поверхности магнитоуправляемой ИС. При совпадении осей происходит срабатывание МУМ.

Указанная конструктивная схема реализована с использованием элементов кнопочного переключателя типа П2К, из которого удалены подвижные контакты.

Постоянный магнит из сплава "неодим-железо-бор" с габаритными размерами 5х5х1,4 мм (В = 120 мТл) размещался на пластмассовом нажимном штоке и закреплялся при помощи клея "Момент". Внешний вид нажимного штока с магнитом приведен на **рис. 2**.

Принципиальная электрическая схема магнитоуправляемого переключателя на основе П2К приведена на **рис. 3**.

В схеме (**рис. 3**) использована магнитоуправляемая ИС типа К1116КП9 (DD1) и бескорпусной резистор (R1). Переключатель срабатывает при перемещении штока с магнитом, т.е. при нажатии клавиши. Светодиод VD1 (любого типа) служит для индикации срабатывания.

Налаживание устройства сводится к выбору положения МУМ на корпусе переключателя и закреплении ИС любым доступным способом.

Напряжение питания переключателя 5 В, ток потребления не более 10 мА.

Габаритные размеры переключателя 22х58х20 мм (определяются размерами переключателя П2К). Масса не более 8 г.

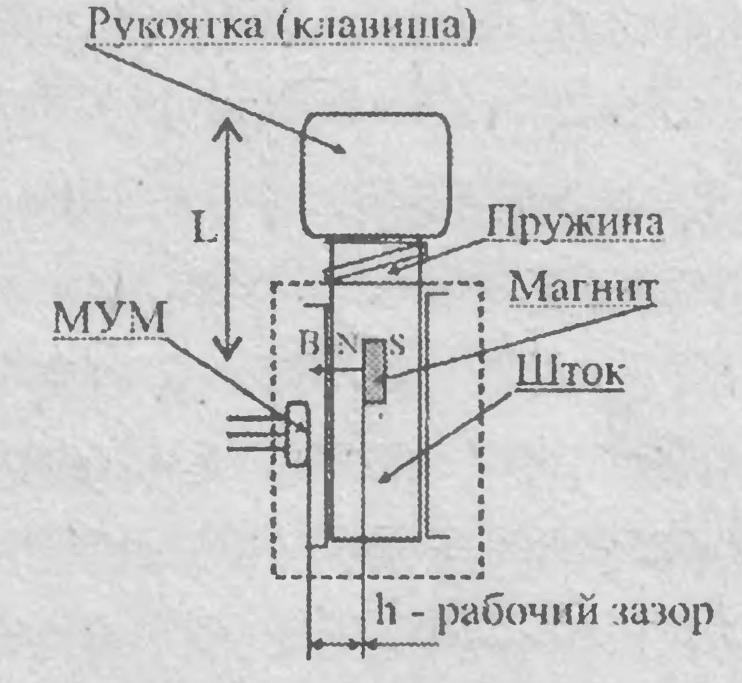


Рис. 1. Конструктивная схема переключателя на основе П2К

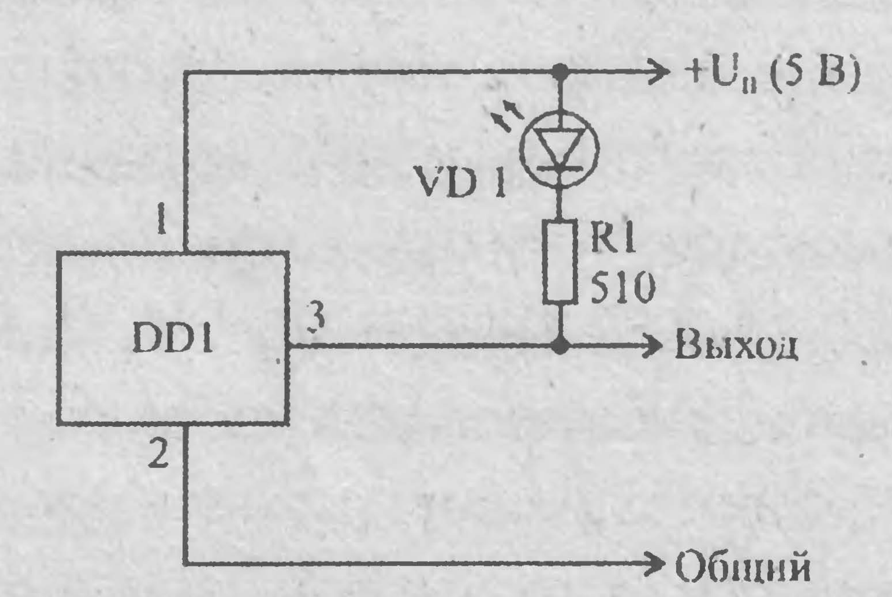


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема переключателя на основе П2К



Рис. 2. Внешний вид нажимного штока с магнитом

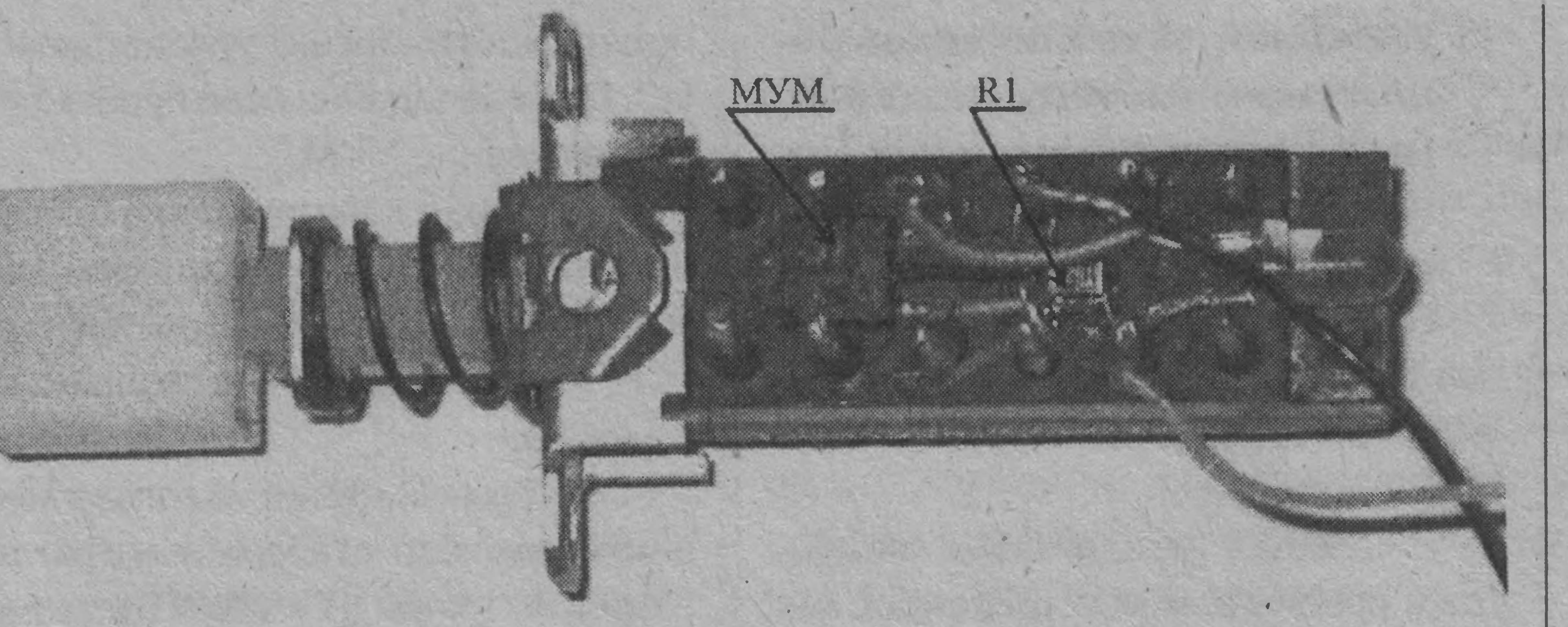


Рис. 4. Внешний вид переключателя на основе П2К

Вместо микросхемы К1116КП9 могут быть использованы МУМ типа SS443A PBF фирмы Honeywell, а при инвертировании сигнала может использоваться микросхема типа SS443A или аналогичные схемы других производителей [2].

В случае необходимости на корпусе переключателя П2К могут быть установлены несколько МУМ, а на штоке – несколько магнитов.

Внешний вид переключателя на основе П2К приведен на **рис. 4**.

2.2. Щелевой переключатель-манипулятор

Конструктивная схема щелевого переключателя-манипулятора приведена на **рис. 5**.

Действие данного манипулятора (**рис. 5**) основано на использовании принципа работы так называемого щелевого или лопастного магнитного датчика, представляющего единую конструкцию, содержащую постоянный магнит и преобразователь магнитного поля, расположенные на определенном расстоянии напротив друг друга. Управляющим элементом датчика является шторка-замыкатель магнитного потока, приводимая в движение, в данном случае, рукой оператора.

Принцип действия щелевого магнитного датчика достаточно прост. Если в рабочий зазор датчика ввести пластину из ферромагнитного материала (шторку), то линии поля превратятся, и величина индукции в зазоре изменится, что вызовет определенную реакцию ПМП. В качестве ПМП могут использоваться элементы Холла, магниторезисторы, магнитотранзисторы, МУМ и МЧМС.

Форма и конструкция шторки-замыкателя может быть, в зависимости от назначения датчика, самой разнообразной и определяется как параметрами самого датчика, так и условиями его применения. На **рис. 6** приведены возможные варианты шторок-замыкателей и формы выходного сигнала [1, 2].

В качестве преобразователей магнитного поля для данного варианта конструкции используются магнитоуправляемые (для получения цифрового сигнала) или магниточувствительные ИС (для получения аналогового сигнала).

Вариант конструкции щелевого датчика был реализован с использованием магнитной системы, состоящей из магнитопровода, МУМ и миниатюрного постоянного магнита.

Внешний вид и габаритные размеры магнитной системы щелевого датчика приведены на **рис. 7**.

Магнитная система датчика при помощи двух винтов М1,2 закрепляется на печатной плате. На этой же плате размещаются светодиод (VD1), бескорпусной резистор R1 и 3-х контактный разъем типа PLS.

В датчике используется магнит из сплава "неодим-железо-бор" диаметром 3 мм, B = 120 мТл. Магнит закрепляется на магнитопроводе при помощи латунной шайбы толщиной 3,2 мм и двух винтов М1,2 мм.

МУМ крепится на магнитопроводе при помощи скобы из латуни толщиной 0,3 мм и двух винтов М1,2.

В качестве шторки-замыкателя может использоваться стальная пластина толщиной 0,5...1 мм. Ширина окна или зубцов выбираются исходя из конкретных условий применения устройства.

В датчике использована магнитоуправляемая ИС типа SS495A PBF фирмы Honeywell. При необходимости инвертировании сигнала может использоваться микросхема типа SS443A или аналогичные микросхемы других производителей.

Рукоятка
Шторка-замыкатель
Магнитопровод
ПМП
ПМ
МЧЭ
Рабочий зазор
h
L
ПМ

L - зона перемещения рукоятки с магнитом.

Рис. 5. Конструктивная схема щелевого переключателя-манипулятора

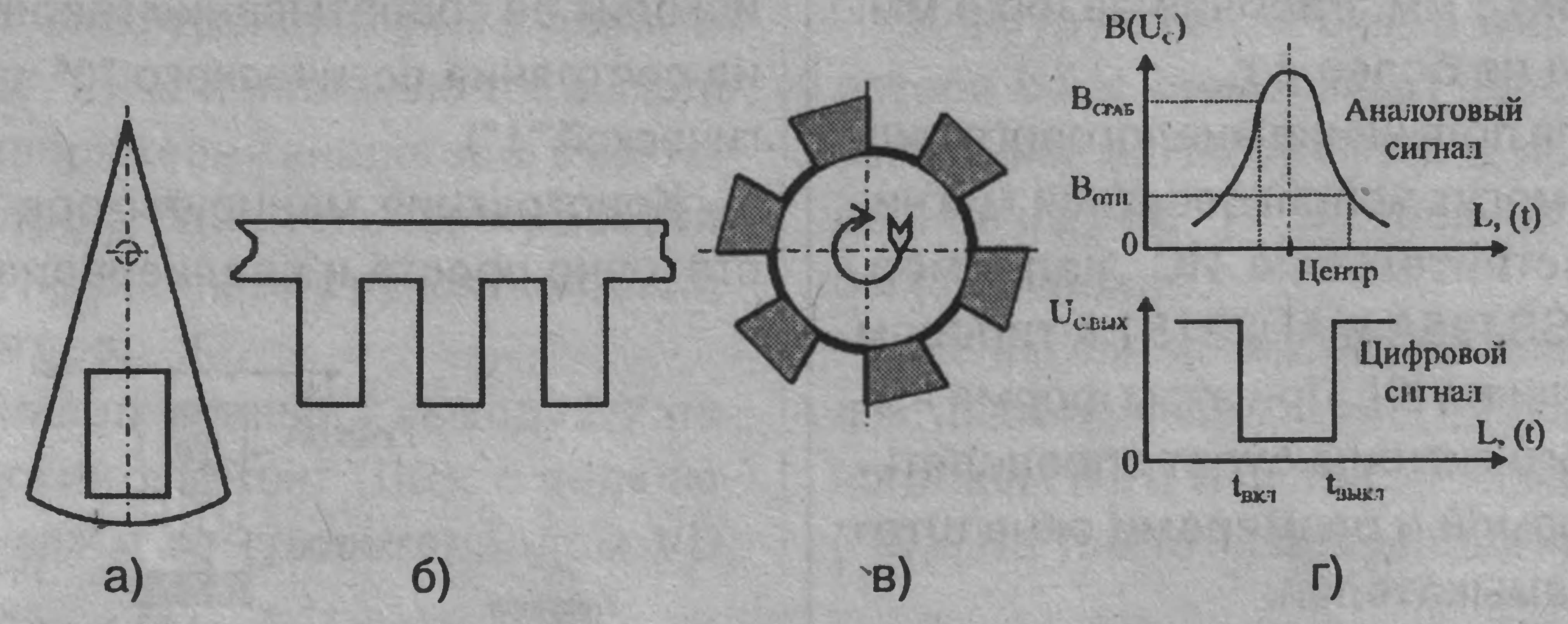


Рис. 6. Конструкция простейших шторок-замыкателей, используемых в щелевых магнитных датчиках:
а – сектор с окном, б – "гребенка"; в – колесо-обтюратор; г – форма выходного сигнала

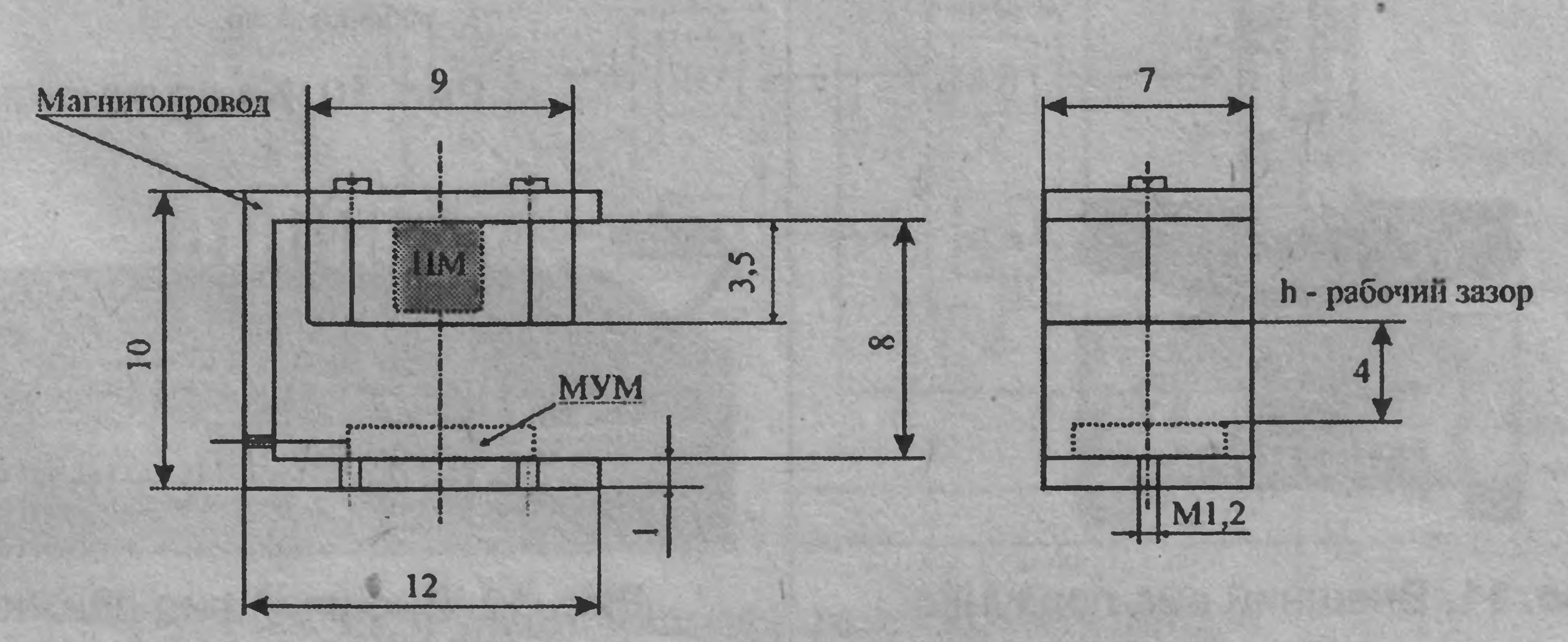


Рис. 7. Магнитная система щелевого датчика

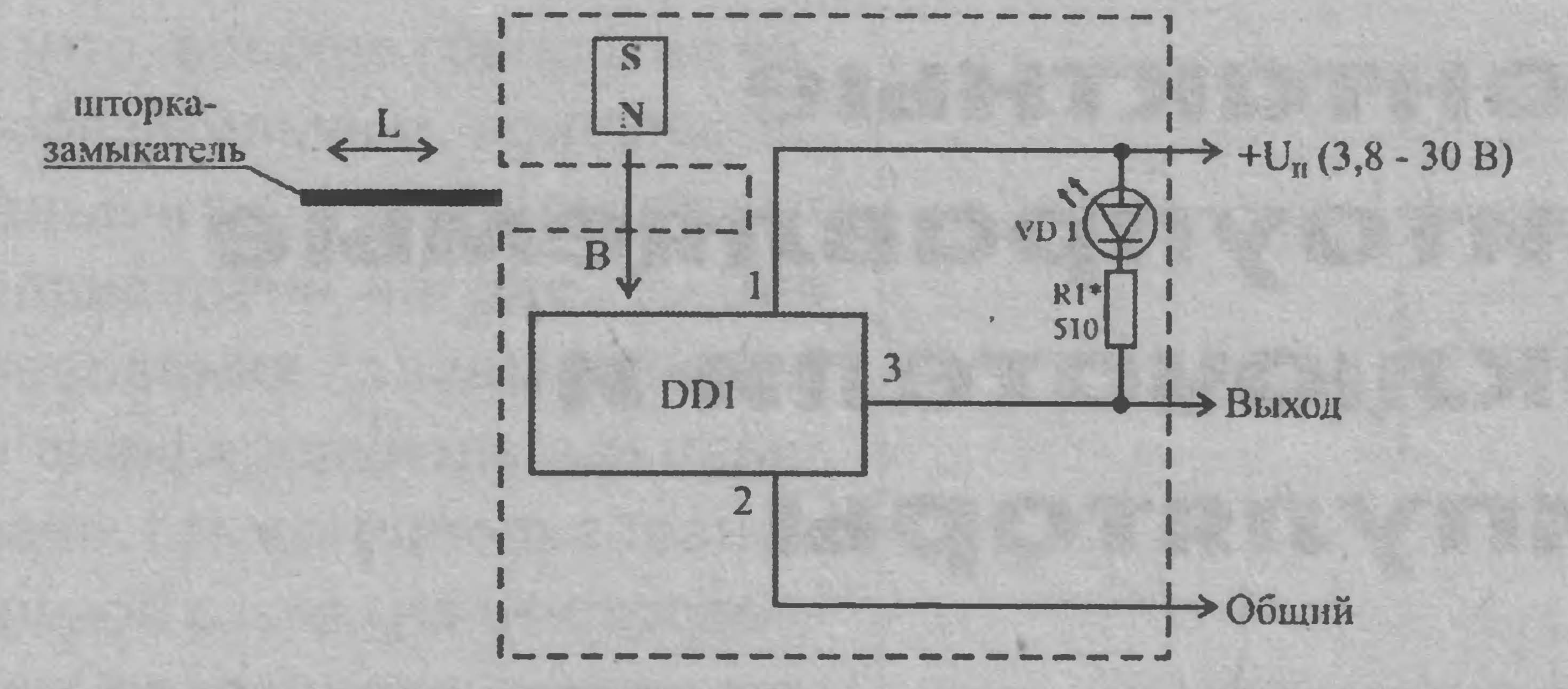
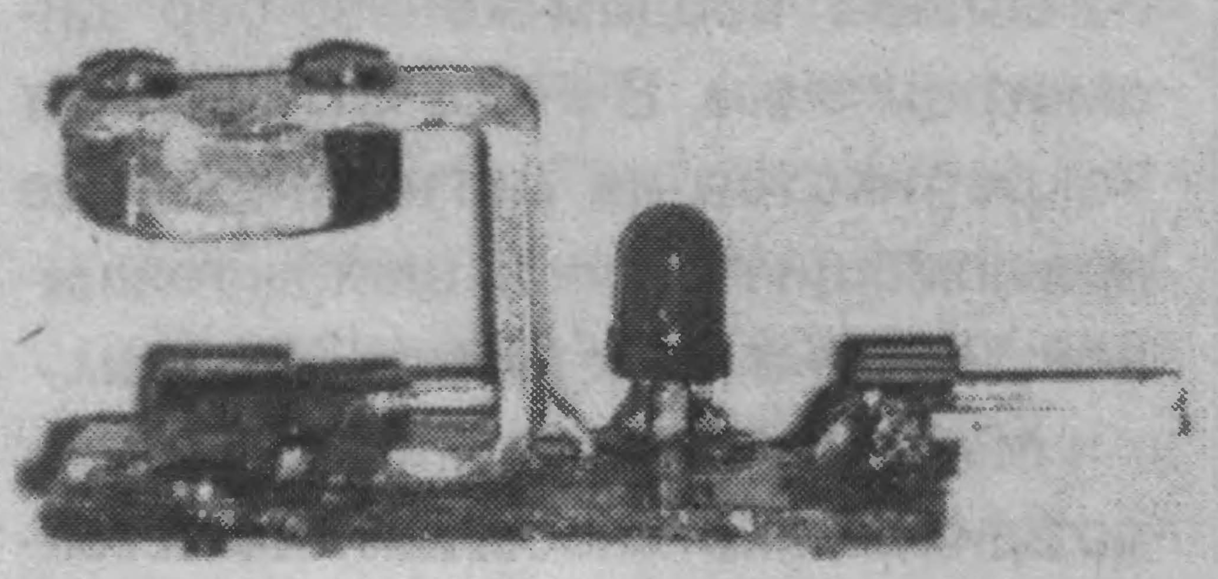


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема щелевого переключателя-манипулятора



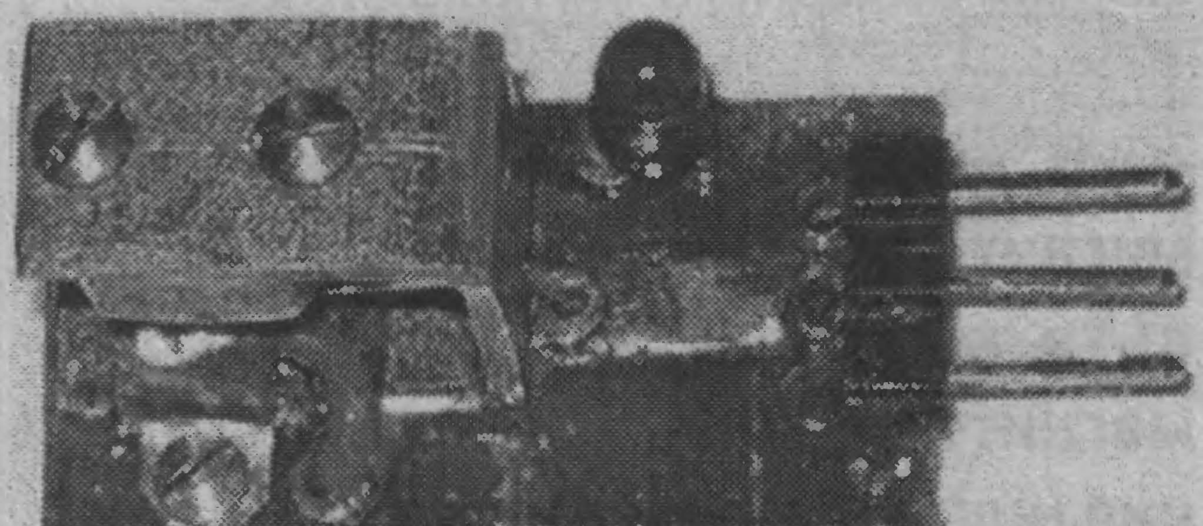


Рис. 9. Внешний вид щелевого переключателя-манипулятора

При уменьшении рабочего зазора до 2 мм может использоваться МУМ типа К1116КП9 [2].

Принципиальная электрическая схема щелевого магнитоуправляемого переключателя-манипулятора приведена на **рис. 8**, внешний вид – на **рис. 9**.

Напряжение питания щелевого переключателя-манипулятора 3,8...30 В, ток потребления не более 10 мА.

Габаритные размеры датчика 12х23х13 мм. Рабочий зазор 4 мм. Масса не более 4 г.

Для получения аналогового сигнала могут использоваться магниточувствительные ИС, например, типа SS495A и AD22151 в типовом включении [2]. При этом форма выходного сигнала будет определяться формой и размерами окна шторок-замыкателей.

2.3. Движковый 8-ми уровневый манипулятор

Конструктивная схема движкового манипулятора приведена на **рис. 10**.

Схема (**рис. 10**) также не требует особых пояснений. Магнит, закрепленный на рукоятке, перемещается относительно 8-ми магнитоуправляемых ИС, расположенных в один ряд. При совпадении центра ПМ с центром магниточувствительного элемента одной из МУМ происходит ее срабатывание (переход из состояния логического “0” к логической “1”).

Конструкция манипулятора достаточно проста и реализована из элементов движкового переменного резистора типа СП5-23а. Лишние детали – контактные группы и резистивная часть – изымаются. Используются только направляющая планка, ползунок и корпус резистора. В конструкции манипулятора использован магнит, изготовленный из сплава “самарий-кобальт”. Габаритные размеры магнита: диаметр 4 мм, длина 3 мм. Величина индукции магнита составляет порядка 250 мТл. Постоянный магнит устанавливается непосредственно на ползунке переменного резистора.

Внешний вид ползунка с магнитом приведен на **рис. 11**.

Все детали манипулятора располагаются на отдельной печатной плате. На плате закрепляются: направляющая планка, магнитоуправляемые ИС типа К1116КП3, бескорпусные резисторы (R1...R8) и светодиоды (VD1...VD8), а также два разъема типа PLS. Шаг расположения микросхем – 10 мм.

Внешний вид манипулятора приведен на **рис. 12**, принципиальная электрическая схема – на **рис. 13**.

Схема (**рис. 13**) не требует особых пояснений. Перемещение рукоятки приводит к изменению напряженности магнитного поля в магниточувствительной зоне одной из МУМ. При превышении уровня магнитного поля B > Bсраб на выходе ИС (DD1...DD8) вырабатывается сигнал стандартного логического

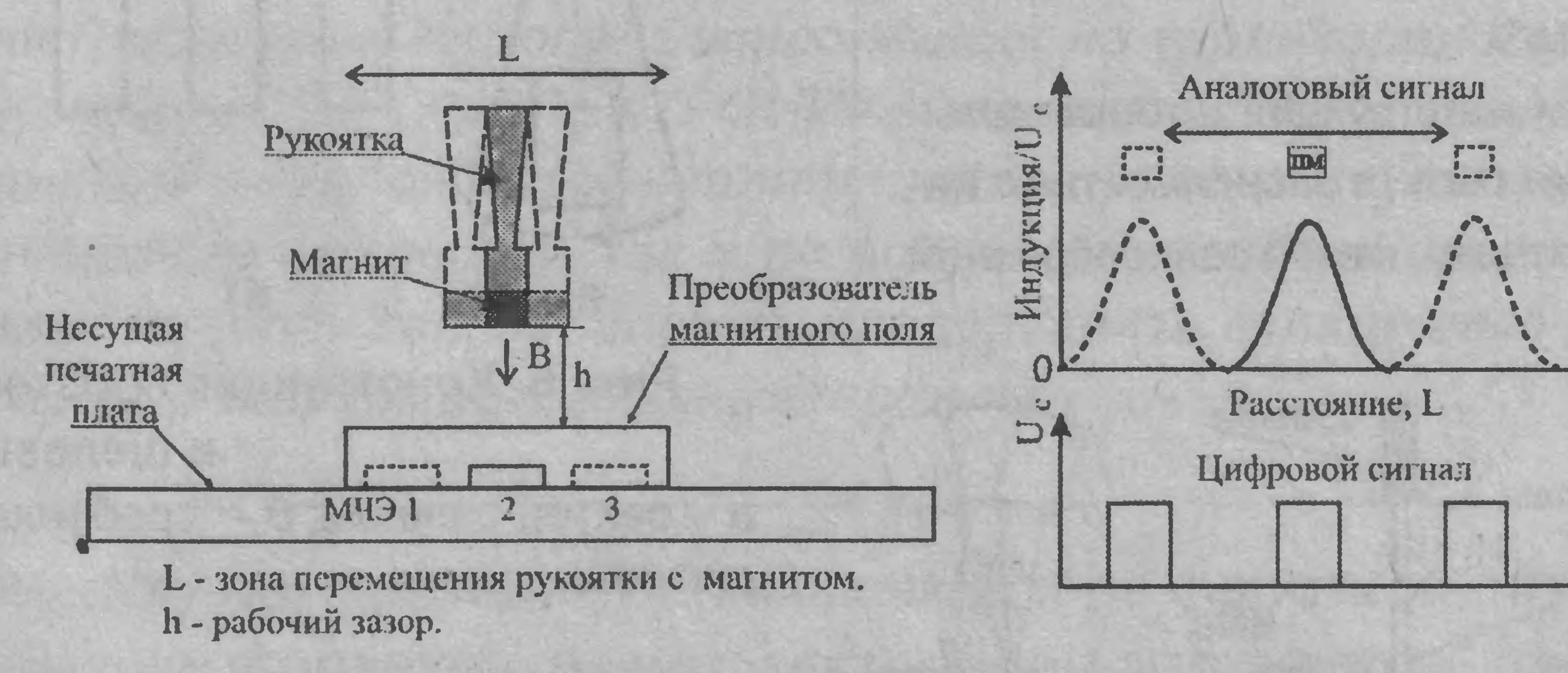


Рис. 10. Конструктивная схема движкового манипулятора



Рис. 11. Внешний вид ползунка с магнитом

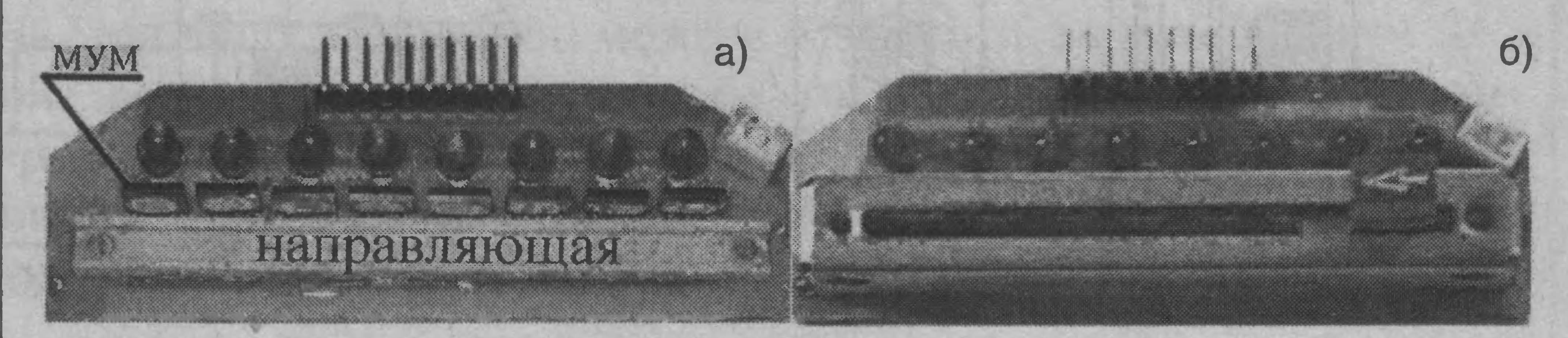


Рис. 12. Внешний вид движкового магнитоуправляемого манипулятора: а – вид со стороны направляющей и МУМ; б – вид в сборе

уровня "1". Состояние микросхем регистрируется светодиодами (VD1...VD8).

Зона срабатывания микросхем К1116КП3 находится в радиусе 3 мм от центра МЧЭ.

Напряжение питания манипулятора 6...16 В. Ток потребления не более 80 мА (если все светодиоды включены).

Габаритные размеры манипулятора 35x90x20 мм. Масса не более 30 г.

Данный вариант манипулятора предназначен для работы в цифровом режиме.

Для работы в аналоговом режиме могут использоваться магниточувствительные ИС, например, типа SS495A или AD22151 в типовом включении или аналогичные МЧМС [2].

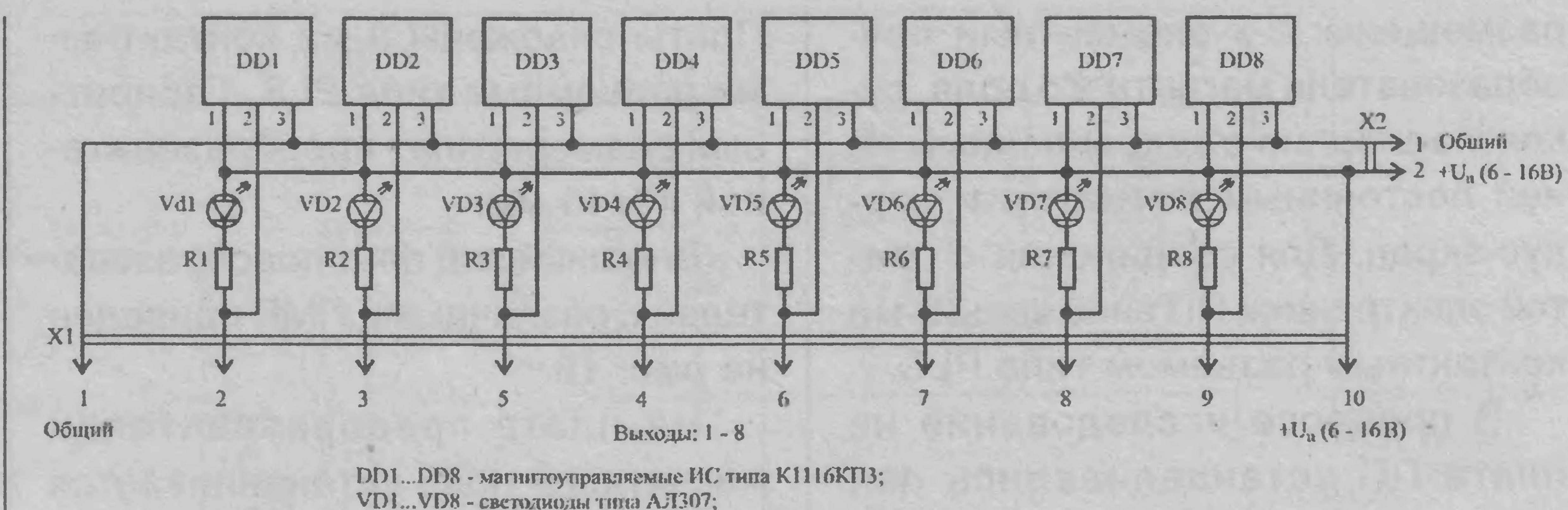


Рис. 13. Принципиальная электрическая схема движкового манипулятора

3. Варианты манипуляторов с использованием многоэлементных ПМП

При выполнении более сложных задач по управлению приборами и оборудованием наиболее целесообразным является использование т.н. многокоординатных манипуляторов. Такие устройства имеют несколько степеней свободы и представляют более широкие возможности по сравнению с простейшими манипуляторами.

В основе конструкций таких манипуляторов лежат многоэлементные преобразователи магнитного поля. Число магниточувствительных элементов у таких устройств составляет два и более, их расположение может быть самым разнообразным: регулярные и нерегулярные линейки, окружности, матрицы и др.

Функциональная схема манипулятора с использованием многоэлементного ПМП приведена на **рис. 14**.

Основным элементом манипулятора является многоэлементный преобразователь магнитного поля (МПМП), с числом элементов два и более. В качестве управляющего элемента используется постоянный магнит, закрепленный на шарнире или шаровой опоре, что позволяет перемещать ПМ в одной или нескольких плоскостях.

Схема содержит усилители сигнала, логические элементы и элементы индикации (например, светодиоды). Для работы с внешними цепями в схеме манипулятора предусмотрены аналоговые и цифровые выходы.

Схема (**рис. 14**) работает следующим образом. Перемещение оператором рукоятки манипулятора приводит к изменению положения постоянного магнита относительно магниточувствительного элемента одного или нескольких преобразователей магнитного поля. Это вызывает изменение напряженности магнитного поля и появление (или изменение) сигнала на выходе ПМП и, соответственно, приводит к разбалансу подключенного к ПМП дифференциального усилителя (ДУ) и к появлению на выходе ДУ напряжения аналогового сигнала, пропорционального расстоянию, пройденному рукояткой манипулятора.

Подключенный к выходу ДУ логический элемент (ЛЭ), с подключенным к нему светодиодом VD, выполняют роль компаратора напряжения. При превышении определенного уровня сигнала на одном (или нескольких) МЧЭ сигнал на выходе логического элемента переключается с "0" на "1", что индексируется зажиганием одного (или несколько) светодиодов, подключенных к выходу ЛЭ.

Ниже приводятся описания нескольких вариантов манипуляторов с использованием "многоэлементных" преобразователей магнитного поля.

3.1. Манипулятор с 2-х элементным преобразователем магнитного поля

Конструктивная схема манипулятора с 2-х элементным преобразователем магнитного поля приведена на **рис. 15**.

Конструктивная схема манипулятора с 2-х элементным преобразователем магнитного поля, приведенная на **рис. 15**, не требует особых пояснений.

Манипулятор состоит из двух узлов: платы преобразователей магнитного поля (ПП) и платы электроники (ПЭ). На плате преобразователей

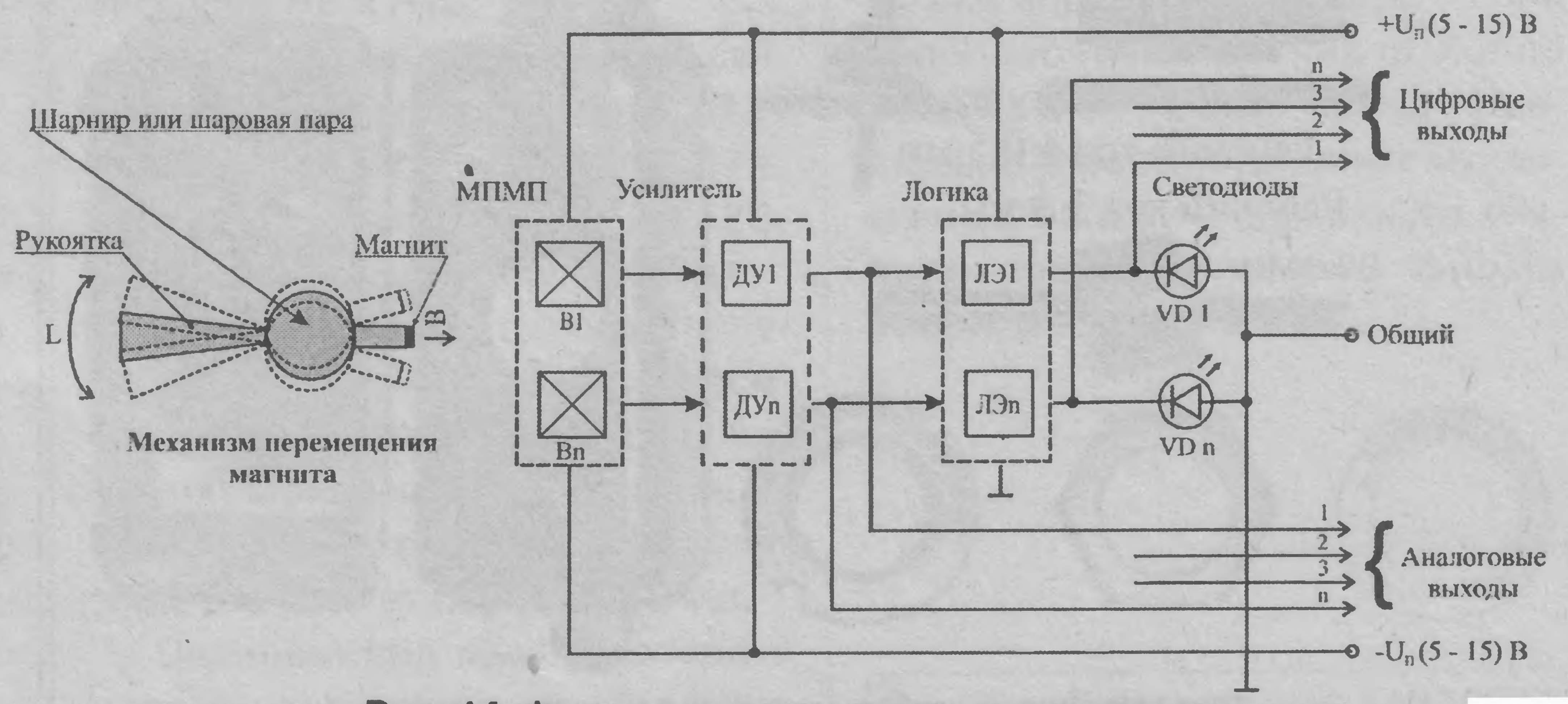


Рис. 14. Функциональная схема манипулятора с использованием многоэлементного ПМП

размещены: 2-х элементный преобразователь магнитного поля, рукоятка-шарнир с закрепленным на ней постоянным магнитом и корпус-экран. Для соединения с платой электроники ПП снабжены 8-ми контактным разъемом типа PLS.

В процессе исследований на плате ПП устанавливались два бескорпусных датчика Холла типа ПХИ-611 или 2-х кристальный ПДХ в планарном корпусе типа 401.14-3.

Платы снабжены 8-ми контактными разъемами типа PLS. Габаритные размеры плат преобразователей 46х43 мм.

Внешний вид плат преобразователей с различными ПМП приведен на **рис. 16**.

На плате преобразователей магнитного поля устанавливается механизм перемещения ПМ. В конструкции манипулятора использован магнит из сплава "альнико" с габаритными размерами 1х1х10 мм, с индукцией порядка 20 мТл. Рабочий зазор 0,5...1 мм.

Шарнирная пара манипулятора изготовлена из деталей стандартного переключателя (типа "Тумблер"). В качестве несущего корпуса использован стальной корпус от реле типа К8 402-1 польского производства, который выполняет и роль магнитного экрана.

Элементы конструкции манипулятора с 2-х элементным преобразователем магнитного поля показаны на **рис. 17**, внешний вид платы преобразователей манипулятора приведен на **рис. 18**.

На плате электроники расположены элементы, необходимые для усиления и обработки сигнала преобразователей магнитного поля. ПЭ снабжена двумя 8-ми контактными разъемами (типа BLS и PLS), необходимыми для присоединения к плате преобразователей, и соединения устройства с внешними цепями.

Принципиальная электрическая схема манипулятора с 2-х элементным преобразователем магнитного поля приведена на **рис. 19**.

В качестве основного элемента в схеме, приведенной на **рис.19**, использована ИС 4-х канального операционного усилителя типа LM324 фирмы "National Semicondactor".

Одна половина усилителя (DA1.1 и DA1.2) работает в качестве усилителя сигнала ПМП, другая (DA1.3 и DA1.4) – выполняет роль компаратора. Светодиоды VD1 и VD2 являются индикаторами состояния компаратора. В схеме



Рис. 15. Конструктивная схема манипулятора с 2-х элементным преобразователем магнитного поля

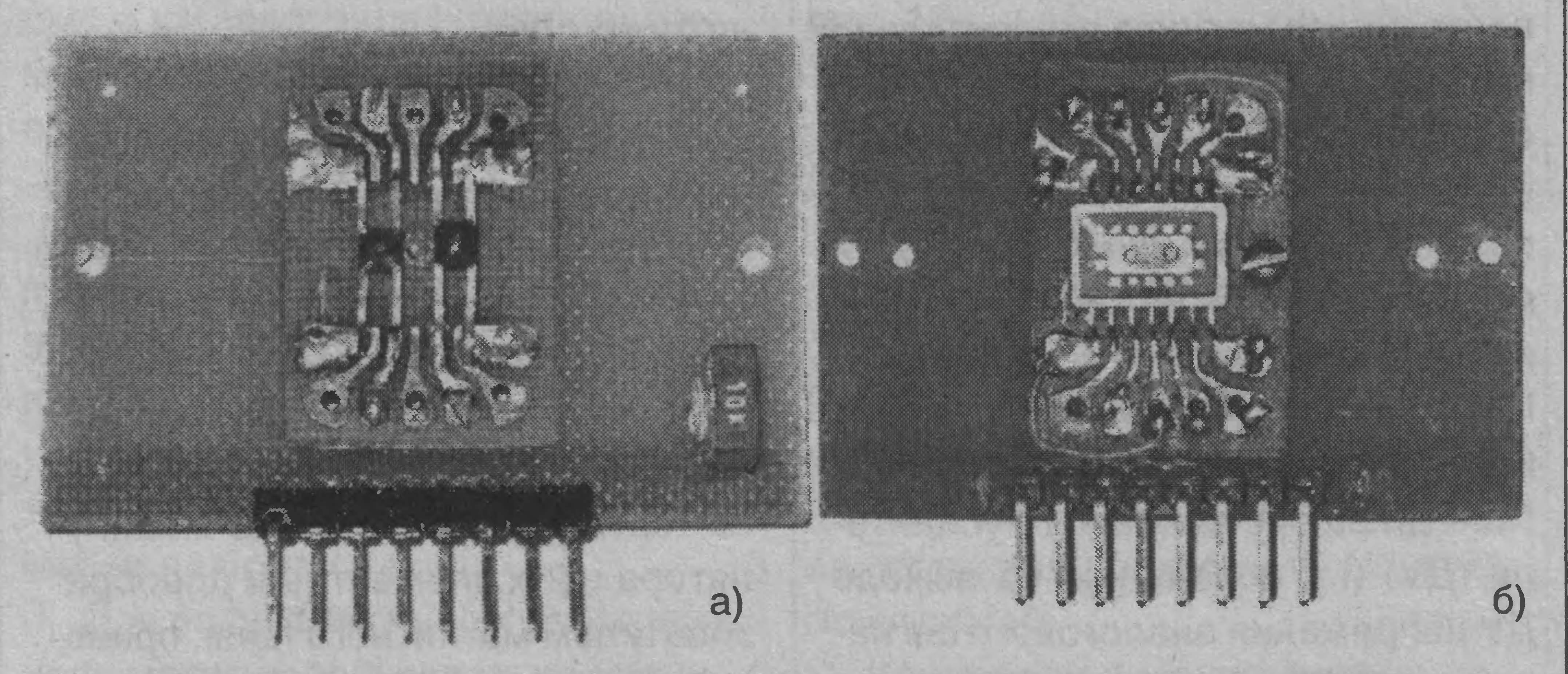


Рис. 16. Внешний вид плат преобразователей с различными ПМП: а – плата с датчиками Холла типа ПХИ-611, расстояние между центрами МЧЭ - 4 мм; б – плата с 2-х элементным ПДХ в планарном корпусе, расстояние между центрами МЧЭ - 2,5 мм

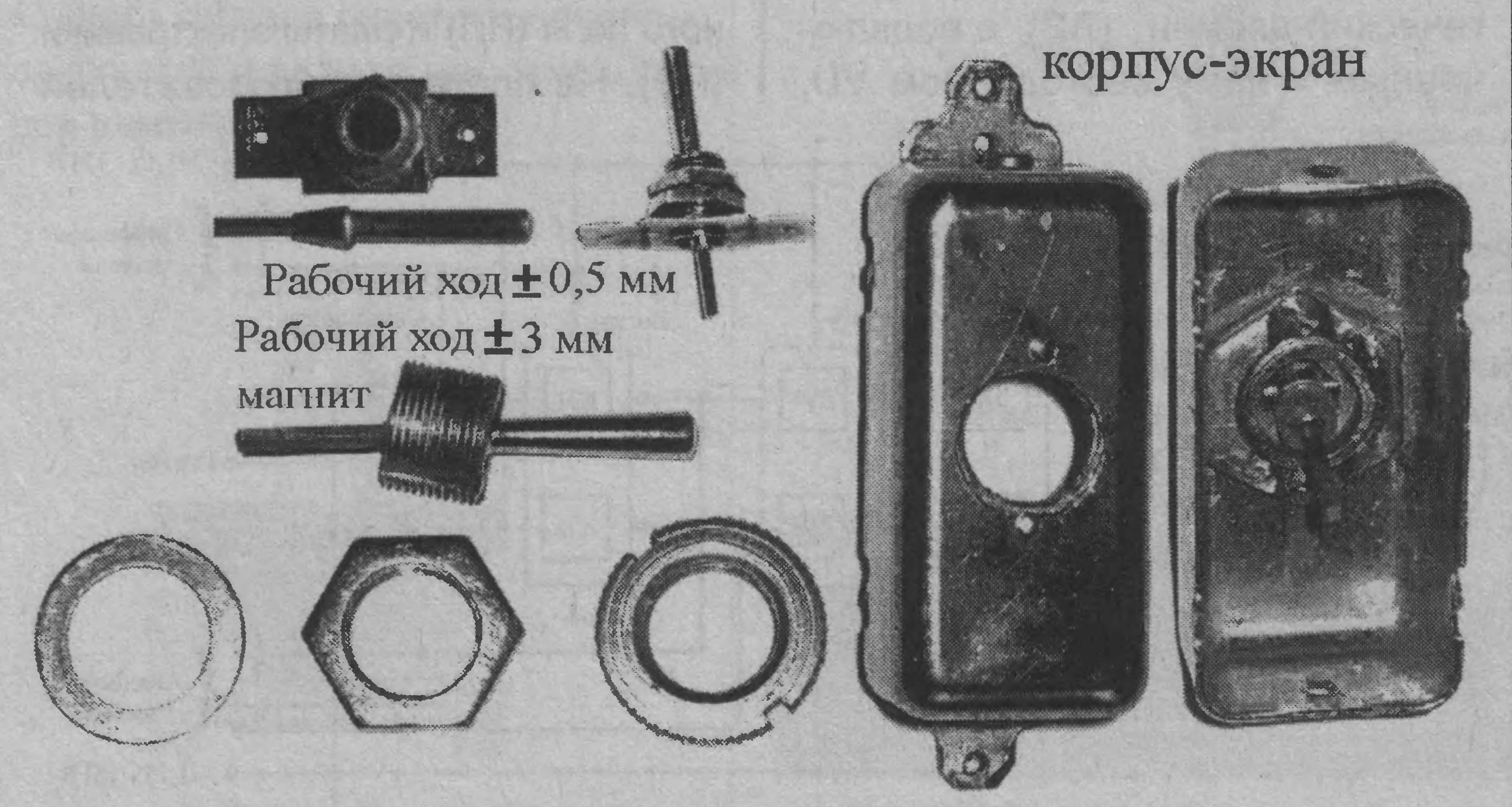


Рис. 17. Элементы конструкции манипулятора с 2-х элементным преобразователем магнитного поля

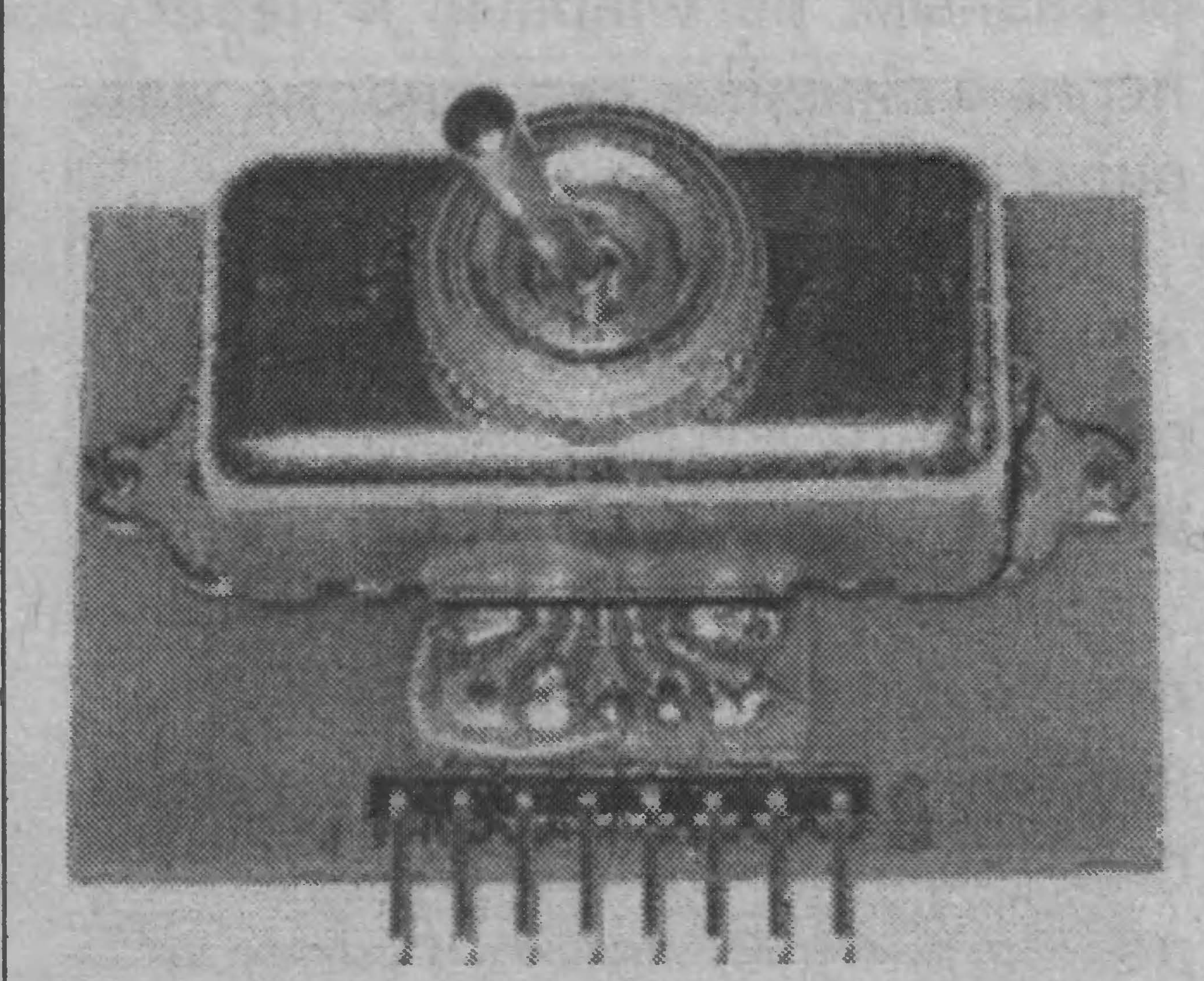


Рис. 18. Внешний вид платы преобразователей манипулятора с 2-х элементным ПМП

плата электроники

платы преобразователей МП

R4, R4 - 220k
R8, R10 - 110k
R7, R9, R11, R12 - 10k

B1, B2 - датчик Холла типа ПХИ-611;
B3 - двухкристалльный полевой датчик Холла;
DA1 - операционный усилитель типа LM324 фирмы "National Semiconductor";
DA1 - микросхема инвертора типа ICM7660;
DA2 - микросхема стабилизатора типа 78L05;
VD1, VD3 - стабилитроны типа КС156А;
VD2, VD4 - диоды типа КД522;
VD5, VD6 - светодиоды типа АЛ307;
R2, R4, R8, R10 - многоборотные подстроечные резисторы.

Рис. 19. Принципиальная электрическая схема манипулятора с 2-х элементным преобразователем магнитного поля

предусмотрено по два выхода от каждого канала: аналоговые (выход 1 и выход 3) и цифровые (выход 2 и выход 4).

Микросхема DA2 служит стабилизатором напряжения, а DA3 (ICM7660) – является инвертором и выполняет роль источника питания отрицательной полярности. Вместо микросхемы ICM7660 можно использовать ICL7660.

Многооборотные подстроечные резисторы R2 и R4 служат для первоначальной балансировки схемы по постоянному току. В среднем положении рукоятки манипулятора напряжение сигнала на выходе устройства должно быть близким к нулю.

Крутизна преобразования определяется параметрами использованных ПМП и коэффициентом усиления микросхемы DA1 (DA1.1 и DA1.2). Резисторы R5 и R6 используются для регулировки коэффициента усиления микросхемы DA1 и установки необходимого уровня аналогового сигнала на выходе устройства.

Уровень компарирования сигнала устанавливается при помощи

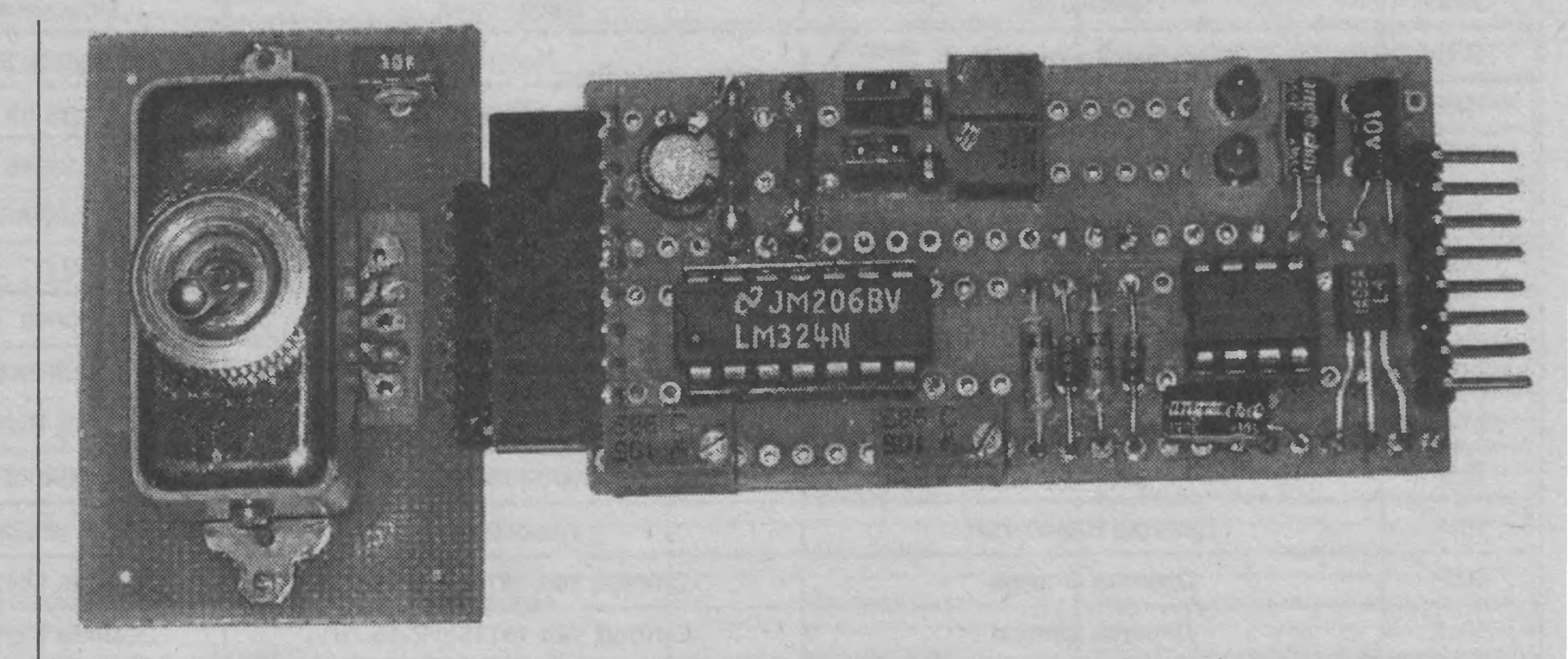


Рис. 20. Внешний вид манипулятора с 2-х элементным преобразователем магнитного поля

многооборотных подстроечных резисторов R8 и R10.

Максимальные габаритные размеры платы электроники (ПЭ) 32х80х15 мм. Масса не более 17 г.

Напряжение питания 9...12В, ток потребления не более 20 мА.

Рабочий ход рукоятки манипулятора составляет ±3 мм относительно среднего (нулевого) положения. Ориентировочная позиционная чувствительность манипулятора составляет порядка 0,3 мм.

Внешний вид манипулятора с платой электроники приведен на **рис. 20.**

Если для работы достаточно только цифрового сигнала, то при использовании датчиков Холла типа ПХИ-611 схему можно существенно упростить, заменив микросхему DD1 на ИС сдвоенного компаратора типа LM393 фирмы "National Semicondactor".

3.2. Микроманипулятор с 4-х элементным преобразователем магнитного поля

В предлагаемом варианте микроманипулятора в качестве преобразователя магнитного поля использован мост типа KMZ10A (фирмы Philips), представляющий собой 4 тонкопленочных магниторезистора, включенных в схему моста.

Координатная характеристика моста KMZ10A приведена на **рис. 21**.

Из координатной характеристики (**рис. 21**) следует, что последняя проходит через "0" и достаточно линейна в пределах ±0,5 мм.

Микроманипулятор реализован в конструкции, приведенной на **рис. 15, рис. 17-18**. Однако механизм перемещения магнита изготовлен с использованием деталей от микротумблера. В конструкции микроманипулятора использован магнит из сплава "альнико" с габаритными размерами 1х1х10 мм, с индукцией порядка В = 20 мТл. Рабочий зазор – 0,5...1 мм.

Микроманипулятор состоит из двух узлов: платы преобразователя магнитного поля (ПП) и платы электроники (ПЭ). На плате преобразователей размещается мост KMZ10A. В случае необходимости на этой же плате может быть установлен переменный резистор, ограничивающий ток питания моста. Габаритные размеры платы 46х43 мм.

Принципиальная электрическая схема и внешний вид платы преобразователей микроманипулятора приведены на **рис. 22**.

Принципиальная электрическая схема микроманипулятора приведена на **рис. 23**.

Схема (**рис. 23**) не требует особых пояснений.

В качестве усилителя сигнала моста (В1) использована интегральная схема инструментального усилителя типа АМР04 фирмы Analog Devices (DA1). Резистор R3 используется для регулировки коэффициента усиления микросхемы DA1 и установки необходимого уровня аналогового сигнала на выходе устройства.

Микросхема DA2 служит для балансировки усилителя DA1, а уровень "0" устанавливается при помощи переменного резистора R5.

Микросхема компаратора LM393 (DA3) выполняет роль порогового устройства. Уровень компарирования устанавливается подстроечными резисторами R7, R8. Светодиоды VD1 и VD2 являются индикаторами состояния компаратора.

Микросхема DA5 служит стабилизатором напряжения, DA4 (ICM7660) – является инвертором и выполняет роль источника питания отрицательной полярности.

В схеме (**рис. 23**) предусмотрены: аналоговый выход (выв. 2) и два цифровых (выв. 6 "-X" и выв. 7 "+X").

Питание схемы может осуществляться как от биполярного источника со стабильным напряжением ±5 В, так и от униполярного источника с напряжением 6...12 В. Выбор источников питания осуществляется при помощи переключателя Sw1.

ПЭ снабжена двумя 8-ми контактными разъемами (типа BLS и PLS), необходимыми для присоединения к плате преобразователя, и соединения устройства с внешними цепями.

Максимальные габаритные размеры платы электроники (ПЭ) – 21х100х15 мм. Масса, не более 18 г.

Напряжение питания – 6...12 В, ток потребления, не более 30 мА (при включенных светодиодах VD1, VD2).

Рабочий ход рукоятки манипулятора составляет ±0,5 мм относительно среднего (нулевого) положения. Ориентировочная позиционная чувствительность манипулятора составляет порядка 0,01 мм.

Внешний вид платы электроники микроманипулятора приведен на **рис. 24**.

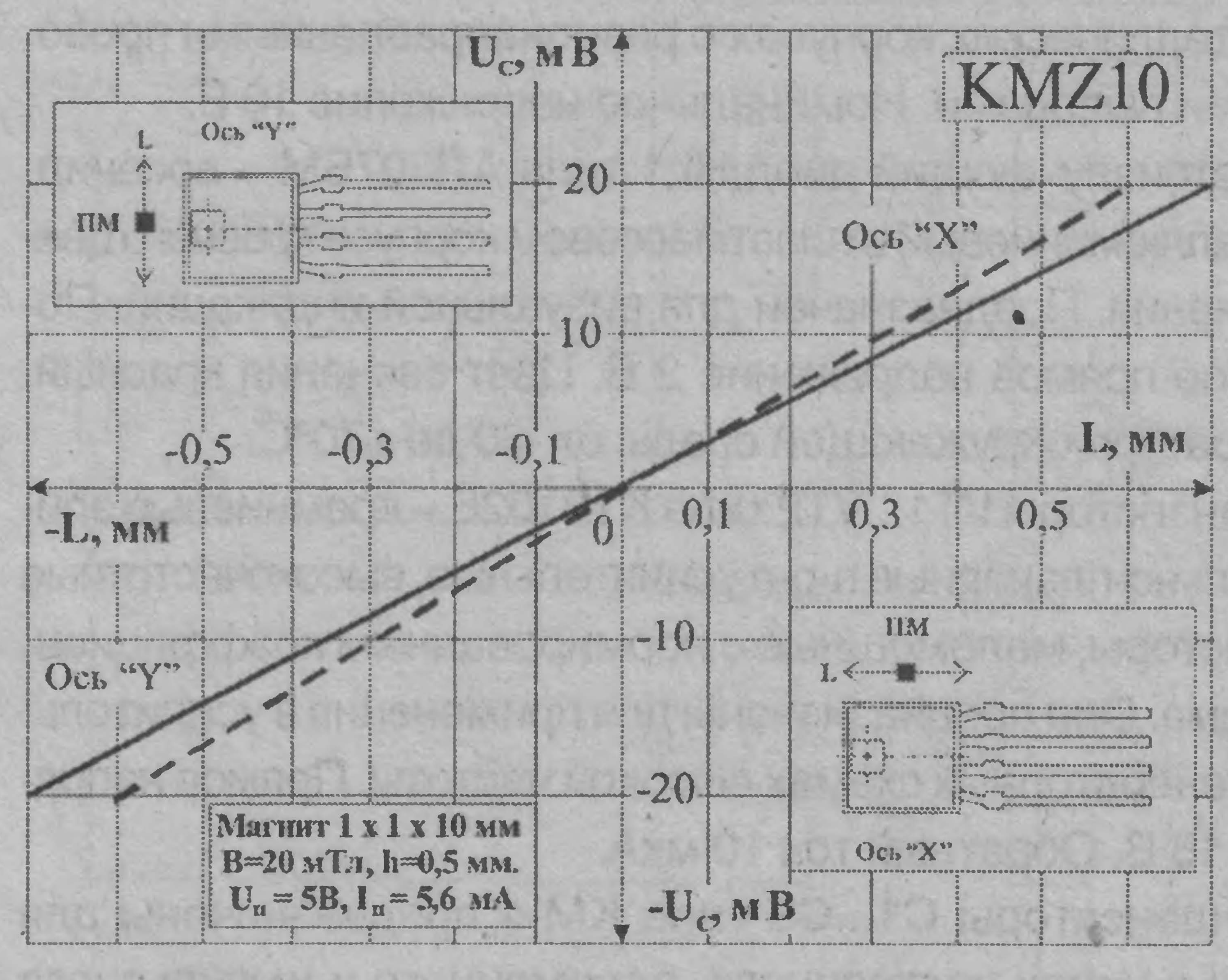
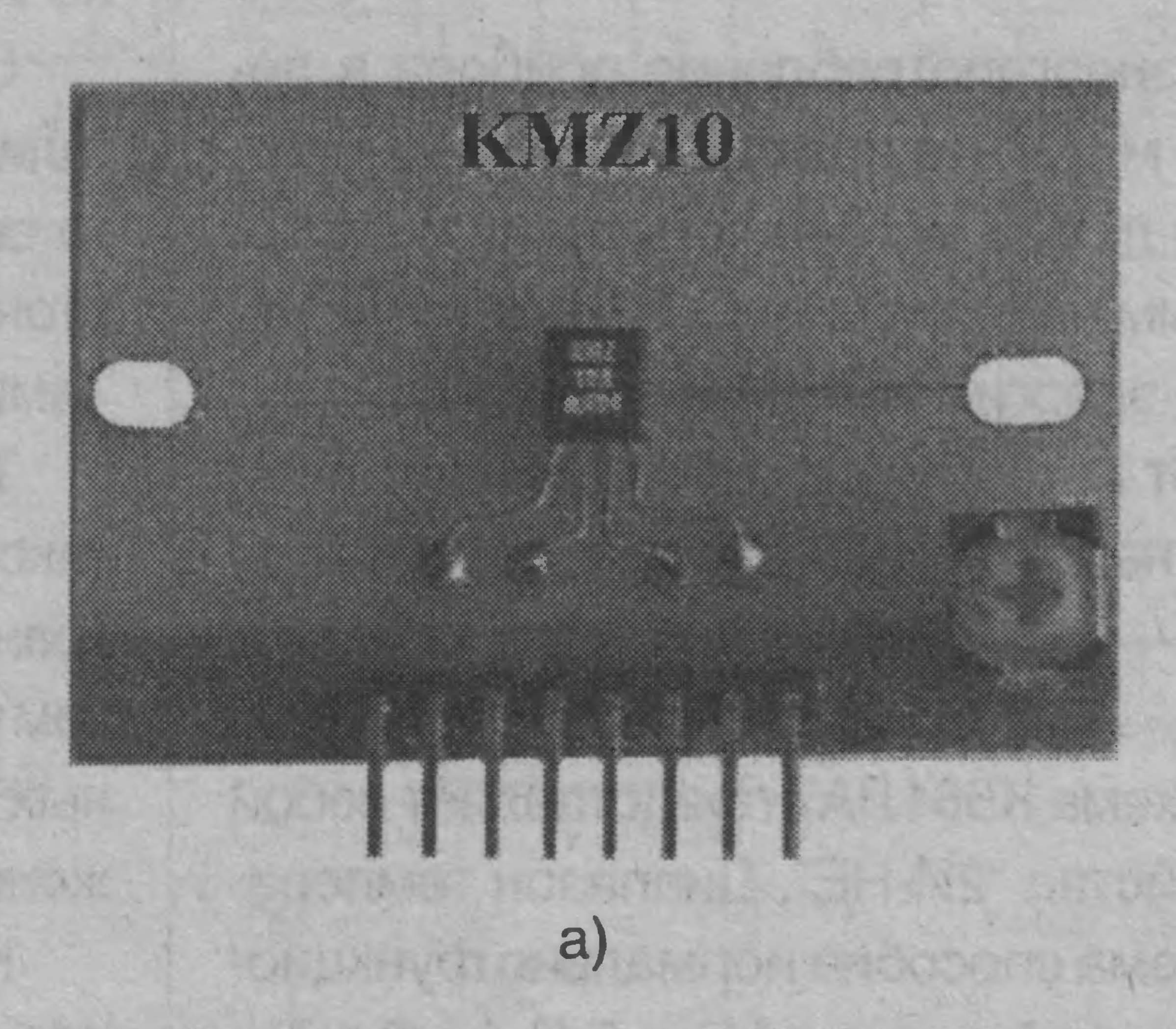


Рис. 21. Координатная характеристика моста KMZ10A



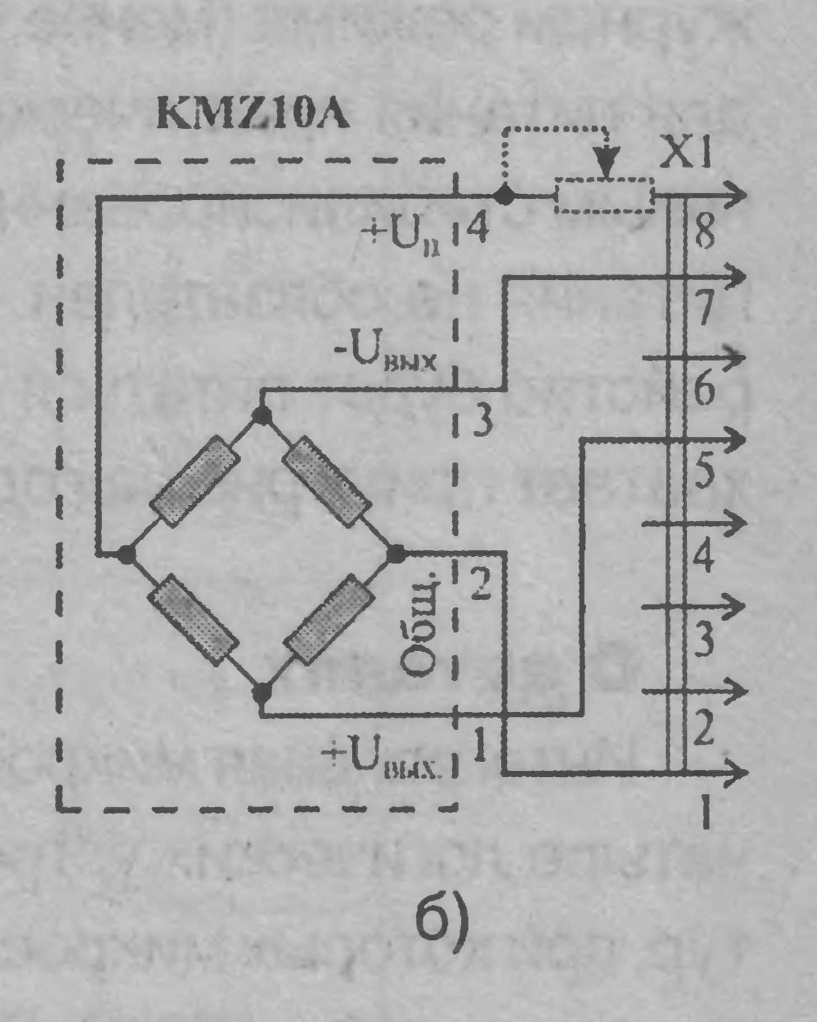


Рис. 22. Внешний вид (а) и принципиальная электрическая схема (б) платы преобразователей микроманипулятора

B1 - магниторезисторный мост типа KMZ10A фирмы "Philips";
DA1 - микросхема инструментального усилителя типа AMP04;
DA2 - операционный усилитель типа 574УД1А;
DA3 - микросхема компаратора типа LM393 фирмы "National Semiconductor";
DA4 - микросхема инвертора типа ICM7660 фирмы "National Semiconductor";
DA5 - микросхема стабилизатора типа 78L05;
VD1...VD4 - микромощные светодиоды.

Рис. 23. Принципиальная электрическая схема микроманипулятора

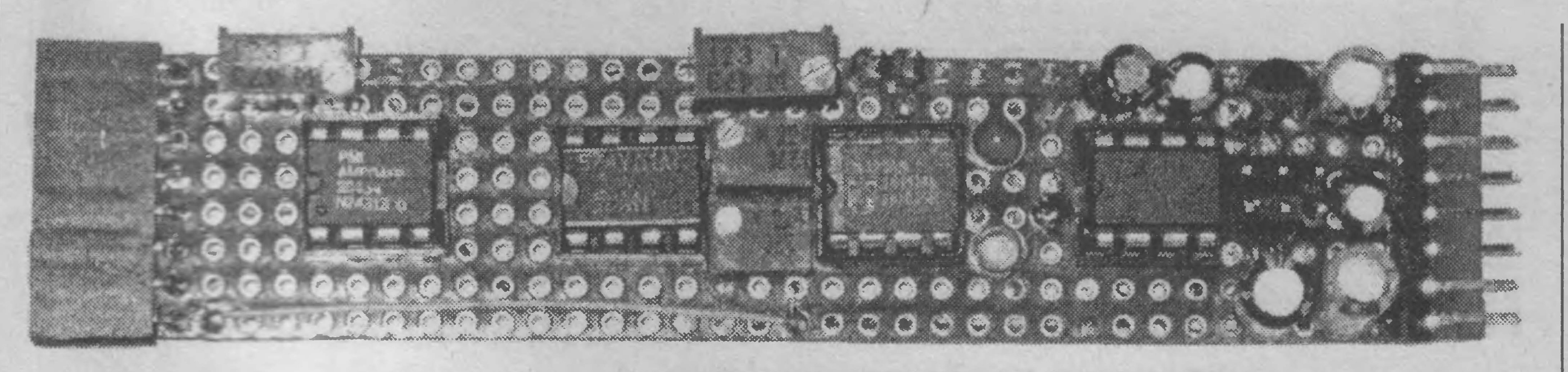


Рис. 24. Внешний вид платы электроники микроманипулятора

4. Двухосевые манипуляторы

Наибольший практический интерес представляют так называемые двухосевые манипуляторы, реагирующие на перемещении рукоятки в двух взаимно перпендикулярных направлениях, что осуществляется с использованием шаровой опоры в механизме перемещения управляющего магнита относительно магниточувствительной поверхности ПМП.

Для моделирования подобных манипуляторов была использована "универсальная" конструкция, позволяющая использовать различные типы преобразователей магнитного поля. Некоторые элементы "универсальной" конструкции механизма перемещения магнита двухосевого манипулятора приведены на **рис. 25**.

Шарнир механизма перемещения манипулятора изготовлен из стального шарика диаметром 10...12 мм. Шарик предварительно отпускают, нагрев его до желтого каления. После чего в нем сверлят отверстие и нарезают резьбу М4 или М5.

Внешний вид "универсальной" конструкции двухосевого манипулятора приведен на **рис. 26**.

"Универсальная" конструкция манипулятора очевидна из **рис. 26** и практически не требует особых пояснений. На алюминиевом основании закреплены четыре 6-ти угольные стойки с резьбой и плата с преобразователями магнитного поля. На верхних концах стойки закреплена верхняя панель с размещенными на ней шаровой опорой, штоком, магнитом и рукояткой. Длина штока манипулятора регулируется.

Конструкция манипулятора позволяет свободно перемешать магнит в

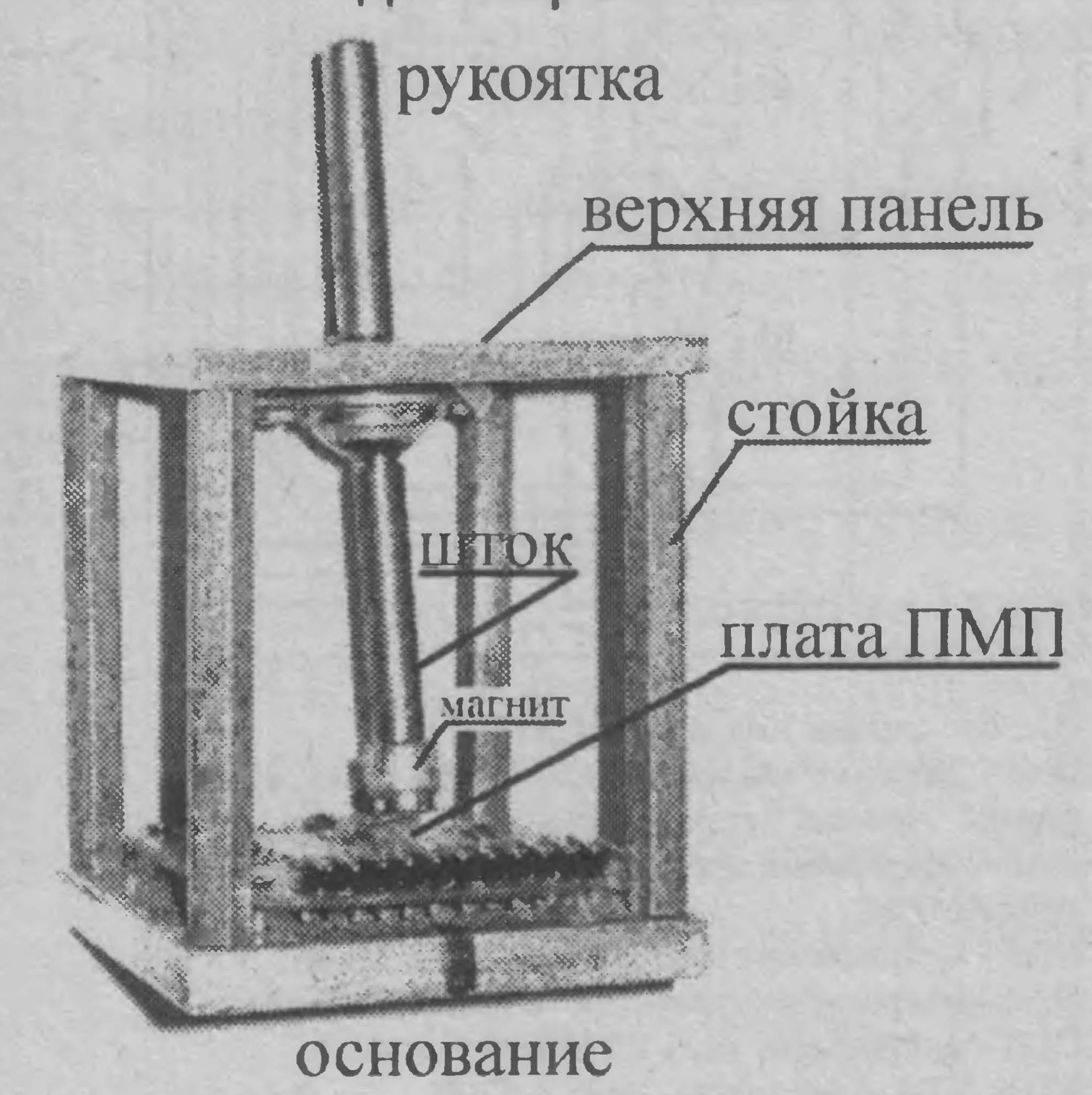


Рис. 26. Внешний вид "универсальной" конструкции двухосевого манипулятора

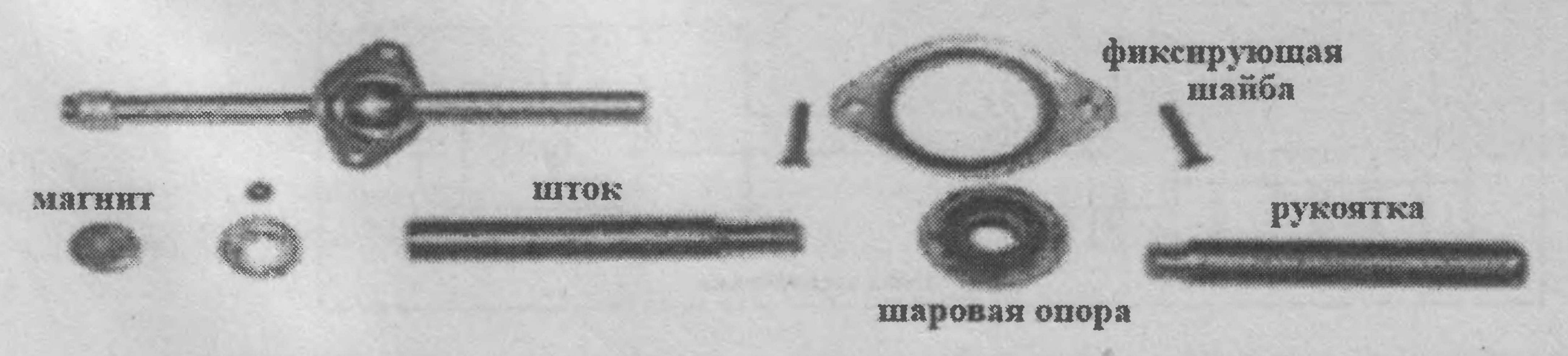


Рис. 25. Некоторые элементы "универсальной" конструкции механизма перемещения магнита двухосевого манипулятора

плоскости МЧЭ ПМП по осям "Х" и "У". Расстояние от магнита до магниточувствительного элемента устанавливается в пределах 3...10 мм, в зависимости от типа используемых ПМП.

В конструкции манипулятора использован магнит, изготовленный из сплава "самарий-кобальт". Габаритные размеры магнита: диаметр 4 мм, длина 4 мм. Величина индукции магнита составляет примерно 250 мТл.

На основании манипулятора могут устанавливаться платы с различными типами преобразователей магнитного поля. К внешним электронным цепям ПП подключаются при помощи 12-ти контактного разъема типа PLS, устанавливаемого на плате.

Рабочий ход рукоятки регулируется длиной штока и составляет до 10...30 мм в радиусе.

4.1. Двухосевой манипулятор с 5-ти элементным преобразователем магнитного поля

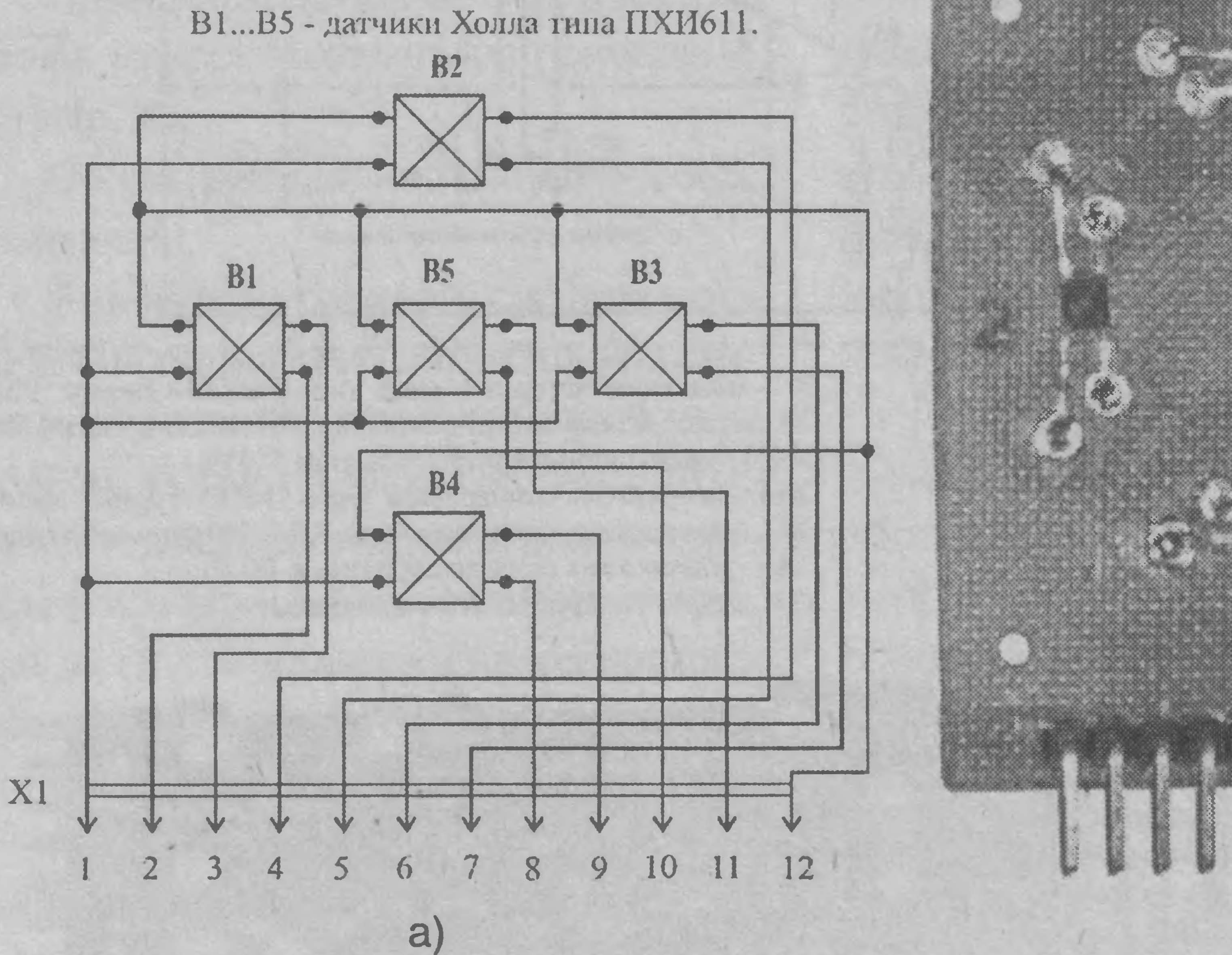
В данном устройстве в качестве ПМП использованы 5 бескорпусных датчиков Холла типа ПХИ-611. Датчики размещаются на отдельной печатной плате, снабженной 12-ти контактным разъемом типа PLS. Максимальные габаритные размеры платы – 37х46х4 мм. Расстояние между центрами МЧЭ 25 мм.

Принципиальная электрическая схема и внешний вид платы преобразователей магнитного поля и приведены на **рис. 27**.

В процессе работы над конструкцией данного манипулятором было исследовано несколько электронных схем. На **рис. 28** приведен один из вариантов принципиальной электрической схемы двухосевого манипулятора с 5-ти элементным преобразователем магнитного поля.

Схема (**рис. 28**) работает следующим образом. Сигнал с преобразователей магнитного поля В1...В4 поступает на 4-х входовой высокочувствительный компаратор DA1, а сигнал с преобразователя В5 поступает на вход усилителя DA2. С выхода компаратора сигнал поступает на вход логической схемы DD1 с подключенными к ней светодиодами VD1...VD4.

При достижении определенной величины магнитного потока, воздействующего на чувствительные элементы ПМП, на одном из выходов микросхемы DD1 изменяется логический уровень сигнала с "0" на "1". Индикаторами состояния микросхемы DD1 служат



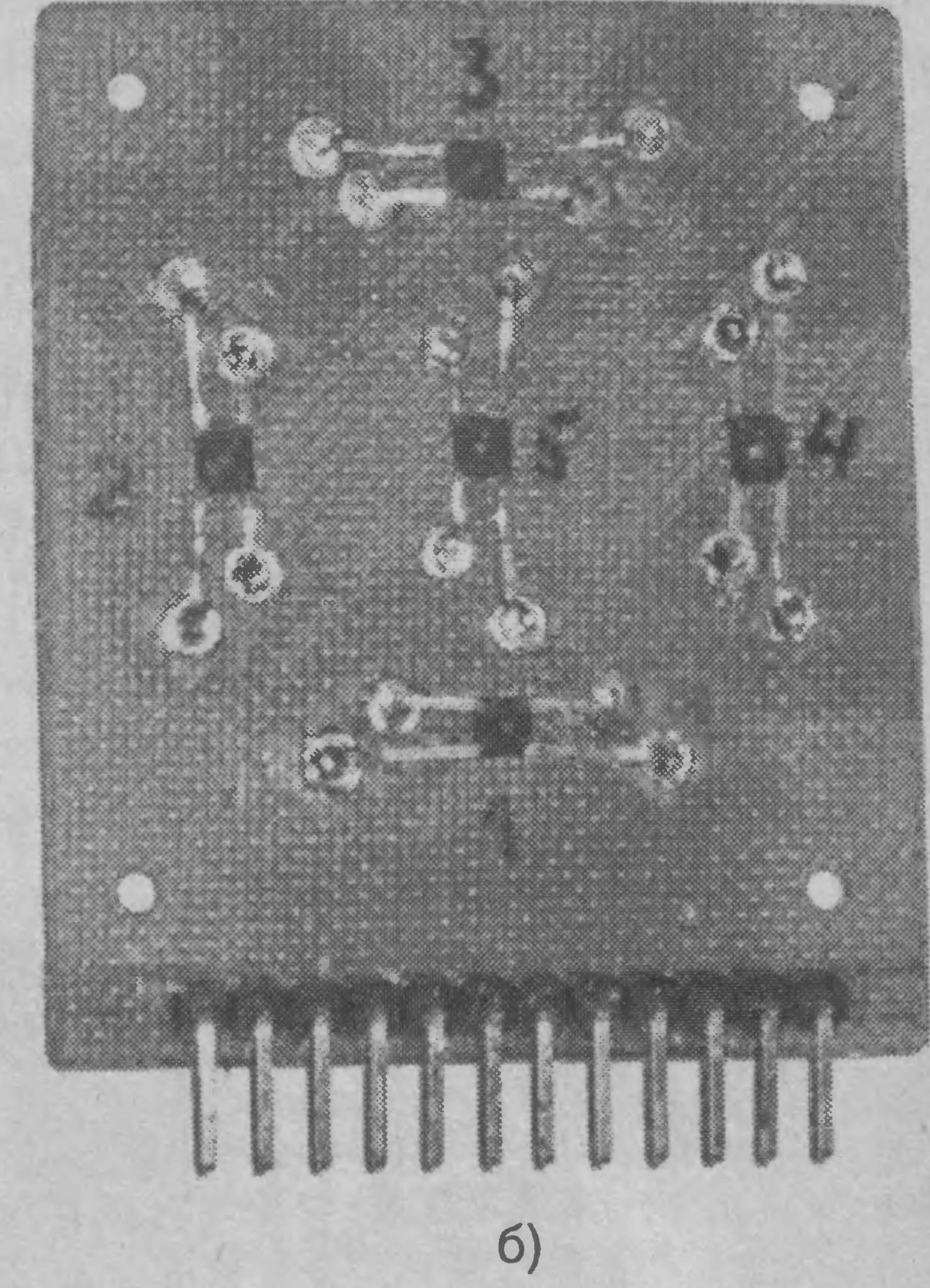


Рис. 27. Принципиальная схема (а) и внешний вид (б) платы преобразователей магнитного поля с датчиками Холла типа ПХИ-611

плата преобразователей МП

плата электроники

B1...B5 - датчик Холла типа ПХИ-611;
DA1 - микросхема компаратора типа LM329 фирмы "National Semiconductor";
DA2 - микросхема инструментального усилителя типа AMP04;
DA3 - микросхема стабилизатора типа 78L05;
DA4 - микросхема инвертора типа ICM7660
DD3 - микросхема типа К176ЛА7;
VD1...VD4 - светодиоды типа АЛ307.

Рис. 28. Один из вариантов принципиальной электрической схемы двухосевого манипулятора с 5-ти элементным преобразователем магнитного поля

светодиоды. Микросхема DA3 типа 78L05 является 5-ти вольтовым стабилизатором напряжения; DA4 – является инвертором и выполняет роль источника питания отрицательной полярности.

В качестве DA1 использована ИС компаратора типа LM329 фирмы “National Semicondactor”, а в качестве DD2 – микросхема типа К176ЛА7 (“2И-НЕ”).

Центральный канал манипулятора с преобразователем B5 служит для формирования аналогового сигнала. Сигнал с преобразователя B5 поступает на вход усилителя DA2, в качестве которого используется ИС типа AMP04 фирмы Analog Devises. Подстроечный резистор R7 служит для первоначальной балансировки схемы DA2. Резистор R1 служит для установки рабочего тока преобразователей B1...B5, включенных параллельно.

В среднем положении рукоятки манипулятора напряжение сигнала на выходах 1...4 устройства должны быть близкими к нулю, сигнал на выходе усилителя DA2 должен быть максимальным.

Внешний вид двухосевого манипулятора с 5-ти элементным преобразователем магнитного поля **рис. 29**.

Максимальные габаритные размеры двухосевого манипулятора без рукоятки – 50х53х60 мм. Длина рукоятки, не более 25 мм, и выбирается в зависимости от решаемых задач. Масса манипулятора, не более 130 г.

Максимальные габаритные размеры платы электроники – 32х75х15 мм.

Напряжение питания – 6...15 В, ток потребления, не более 20 мА.

Рабочий ход рукоятки манипулятора составляет 15 мм в радиусе. Ориентировочная позиционная чувствительность манипулятора составляет порядка 0,1 мм.

Крутизна преобразования 5-го канала не менее 100 мВ/мм, определяется магнитной чувствительностью ПМП и коэффициентом усиления микросхемы DA2, который определяется номиналом подстроечного резистора R6.

4.2. Двухосевой манипулятор с использованием 5-ти магнитоуправляемых микросхем

При макетировании данного варианта манипулятора была использована “универсальная” конструкция, приведенная на **рис. 26**.

На плате преобразователей магнитного поля установлены 4 магнитоуправляемые микросхемы типа К1116КП3 (DD1...DD4), одна К1116КП9 (DD5), пять бескорпусных резисторов нагрузки (R1...R5) и 10-ти контактный разъем типа PLS.

Принципиальная электрическая схема и внешний вид платы преобразователей с 5-ю магнитоуправляемыми ИС приведены на **рис. 30**.

Максимальные габаритные размеры платы преобразователей – 37х46х4 мм, расстояние между центрами МЧЭ МУМ –15 мм.

Данный вариант конструкции не требует дополнительной электроники. Перемещение рукоятки манипулятора приводит к изменению напряженности магнитного поля в магниточувствительной зоне одной из МУМ.

При превышении уровня магнитного поля > $B_{сраб}$ на выходе ИС (DD1...DD5) вырабатывается сигнал стандартного логического уровня “1”.

Сигнал лог. “1” на выходе микросхемы DD5 – соответствует среднему (нулевому) положению рукоятки манипулятора.

Зона срабатывания каждой МУМ находится в радиусе 3 мм от центра МЧЭ микросхемы. Ориентировочная позиционная чувствительность манипулятора составляет порядка 0,5 мм.

Напряжение питания платы – 6...16 В. Ток потребления, не более 40 мА.

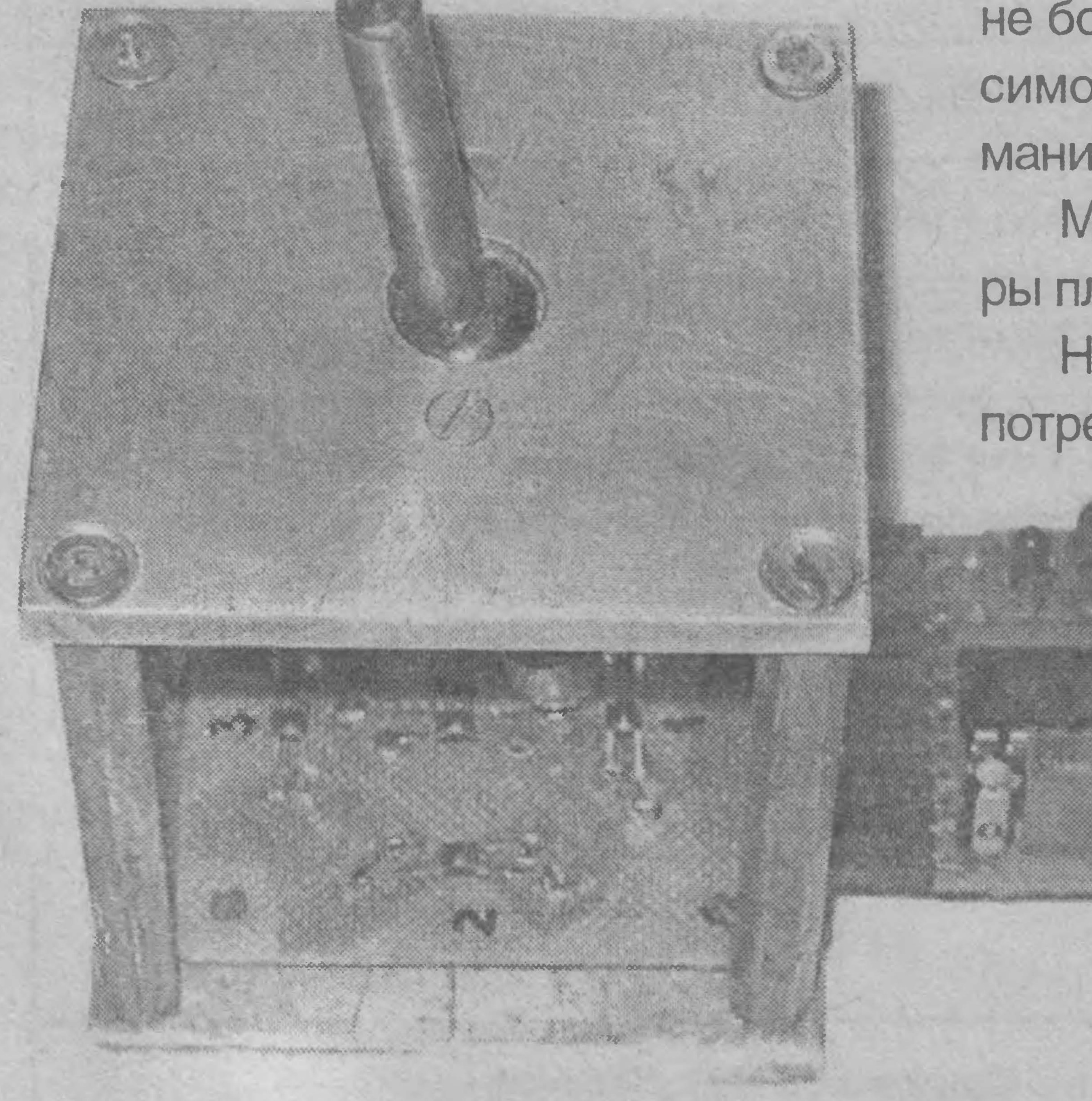
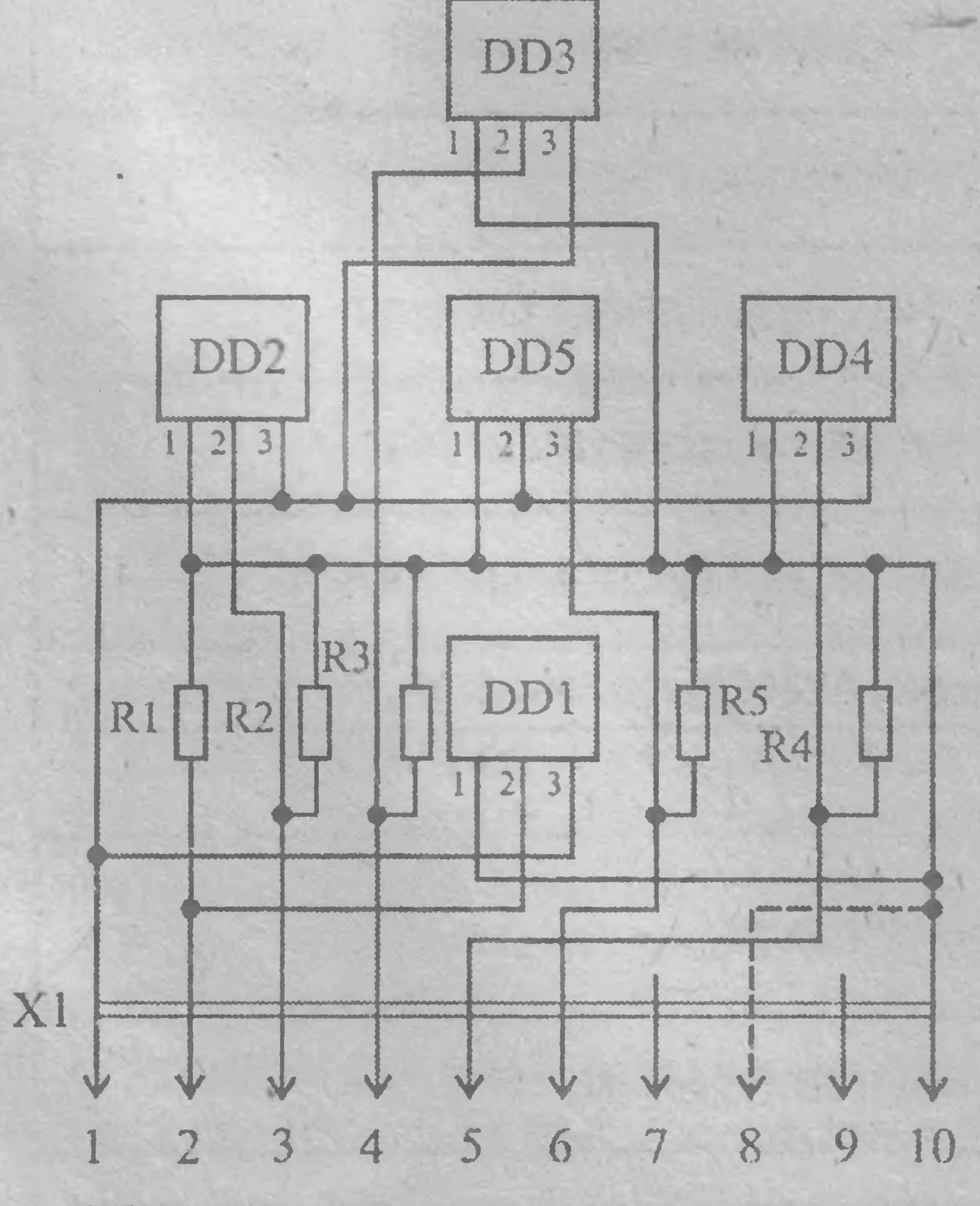


Рис. 29. Внешний вид двухосевого манипулятора с 5-ти элементным преобразователем магнитного поля



DD1...DD4 - микросхемы типа К1116КП3;
DD5 - микросхема типа К1116КП9.

а)

б)

Рис. 30. Принципиальная электрическая схема (а) и внешний вид (б) платы преобразователей магнитного поля с микросхемами типа К1116КП3 и К1116КП9

4.3. Двухосевой манипулятор с использованием магниторезисторов СМ4-1

При макетировании данного варианта манипулятора также была использована "универсальная" конструкция, приведенная на **рис. 26**.

В качестве преобразователей магнитного поля были использованы "монолитные" магниторезисторы типа СМ4-1.

Магниторезисторы последовательно с сопротивлениями нагрузки ($R_н$) включались 4-х угольной звездой и подключались к источнику тока. Принципиальная схема включения магниторезисторов приведена на **рис. 31**.

Магниторезисторы СМ4-1, расположенные в форме "креста", размещались на плате преобразователей и фиксировались клеем "Момент". Учитывая необычайную "нежность" магниторезисторов, плата сверху защищалась слоем плексигласа, толщиной 0,3 мм.

Габаритные размеры платы преобразователей – 30x40x1,5 мм. Центры магниторезисторов расположены по радиусу, равному 15 мм. Плата снабжена 8-ми контактным разъемом типа PLB.

Принципиальная электрическая схема и внешний вид платы преобразователей приведены на **рис. 32**.

Принципиальная схема (**рис. 33**) также не требует подробных объяснений. В качестве усилителя сигнала используются две интегральные схемы инструментального усилителя типа AMP04 (DA1, DA2). Резисторы R11, R12 служат для установки коэффициента усиления микросхем DA1, DA2.

Резисторы R5...R8 являются сопротивлениями нагрузки соответствующих магниторезисторов и служат для первоначальной установки "0" (при нахождении управляющего магнита над центром "креста"). Магниторезисторы (R1...R4) питаются от источника тока, образованным транзистором VT1, стабилитроном VD1 и резисторами R9 и R10. Рабочий ток устанавливается при помощи подстроечного резистора R10.

Микросхемы DA3 и DA4 являются стабилизаторами напряжения.

Манипулятор питается от униполярного источника питания с напряжением ±(6...12 В) или от стабилизированного источника питания с напряжением ±5 В.

Электронная схема манипулятора размещена на печатной плате (ПЭ) с габаритными размерами 40x100x15 мм. Масса, не более 28 г.

ПЭ снабжена двумя разъемами (типа BLS и PLS), необходимыми для присоединения к плате преобразователя, и соединения устройства с внешними цепями.

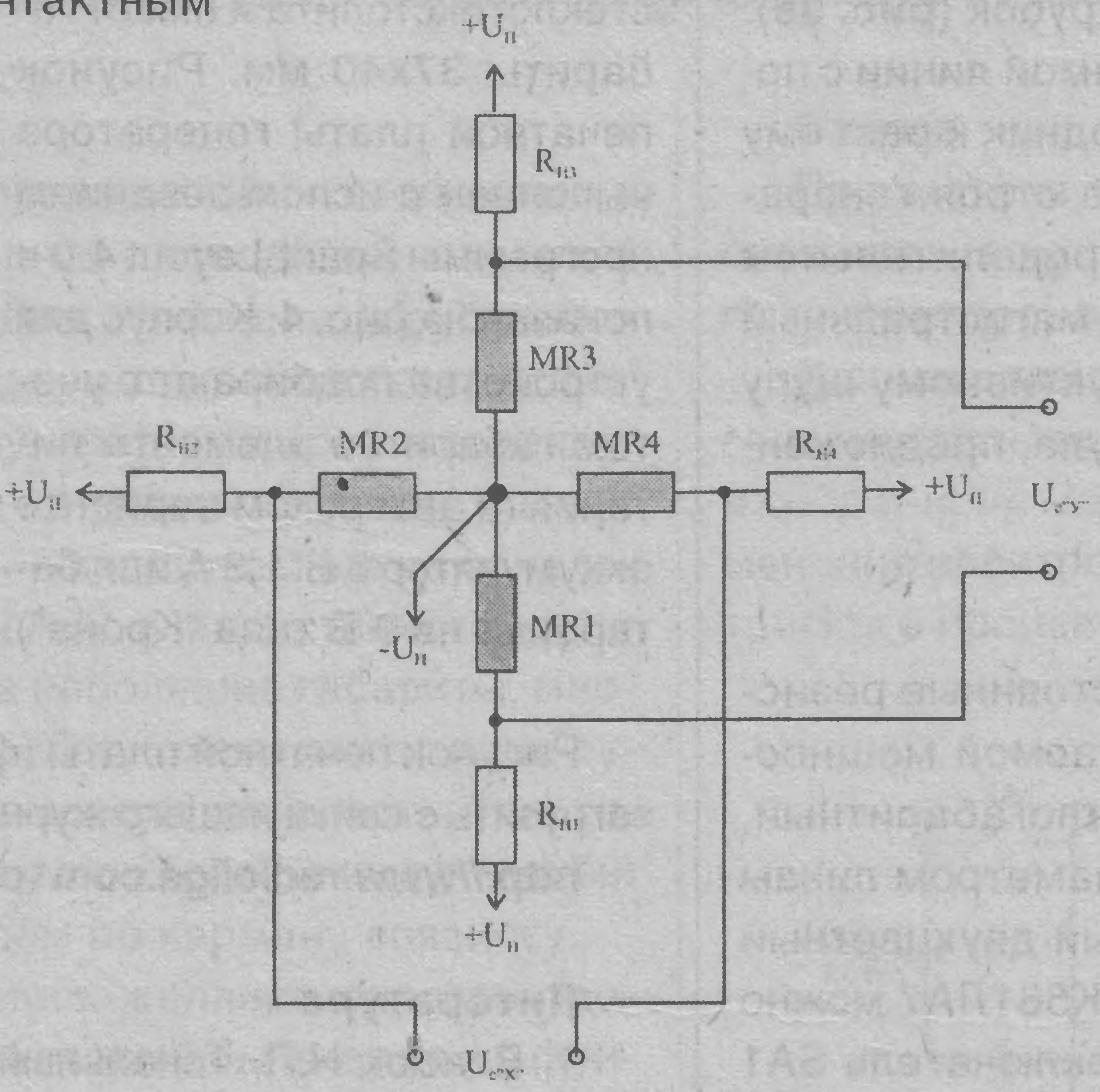
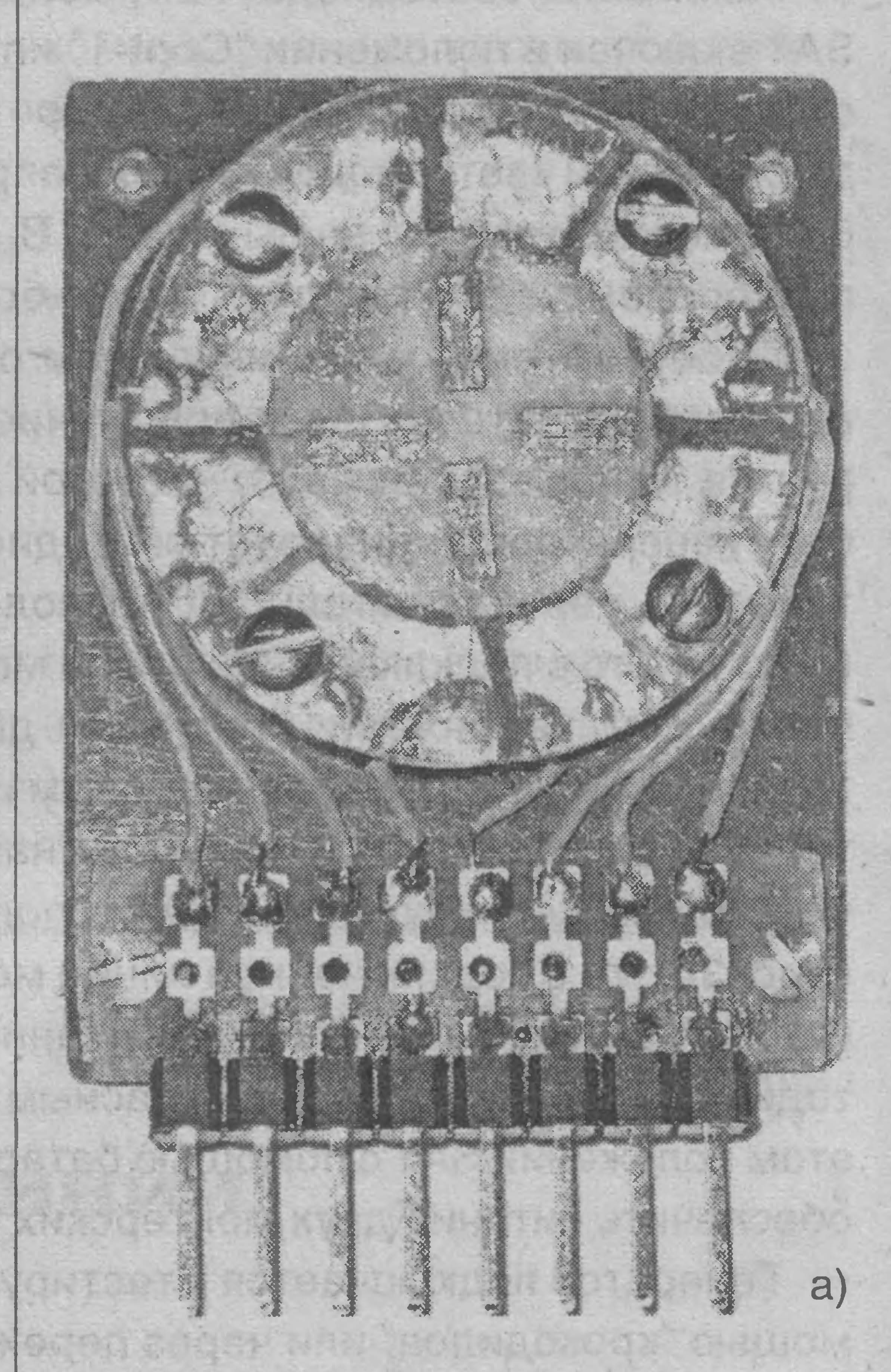


Рис. 31. Схема включения магниторезисторов

Внешний вид "электронной части" двухосевого манипулятора с применением магниторезисторов типа СМ4-1 приведен на **рис. 34**.

Крутизна преобразования устройства, не менее 50 мВ/мм, определяется магнитной чувствительностью магниторезисторов и коэффициентом усиления микросхем DA1 и DA2.



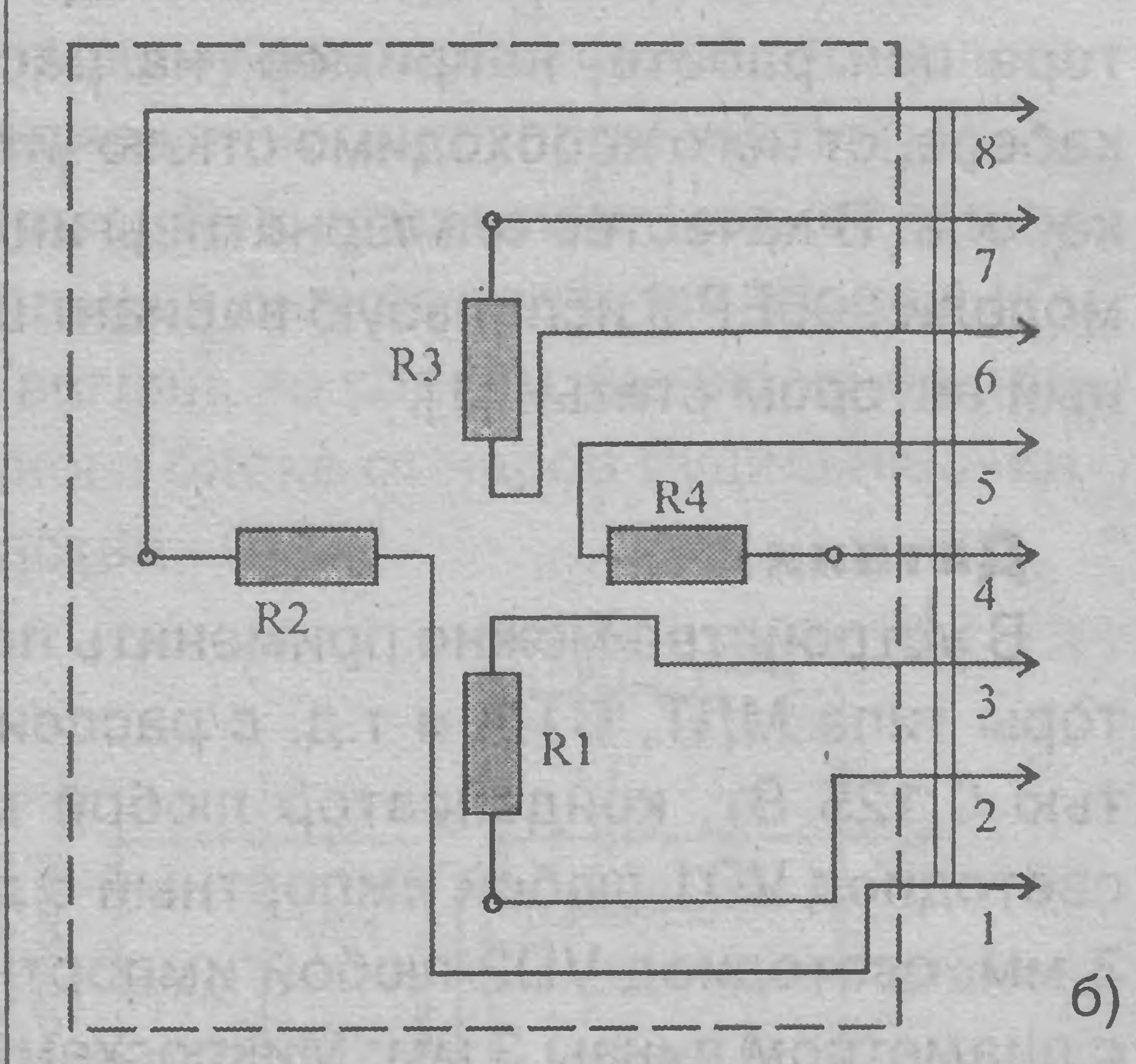


Рис. 32. Внешний вид (а) и электрическая схема (б) платы преобразователей с магниторезисторами СМ4-1

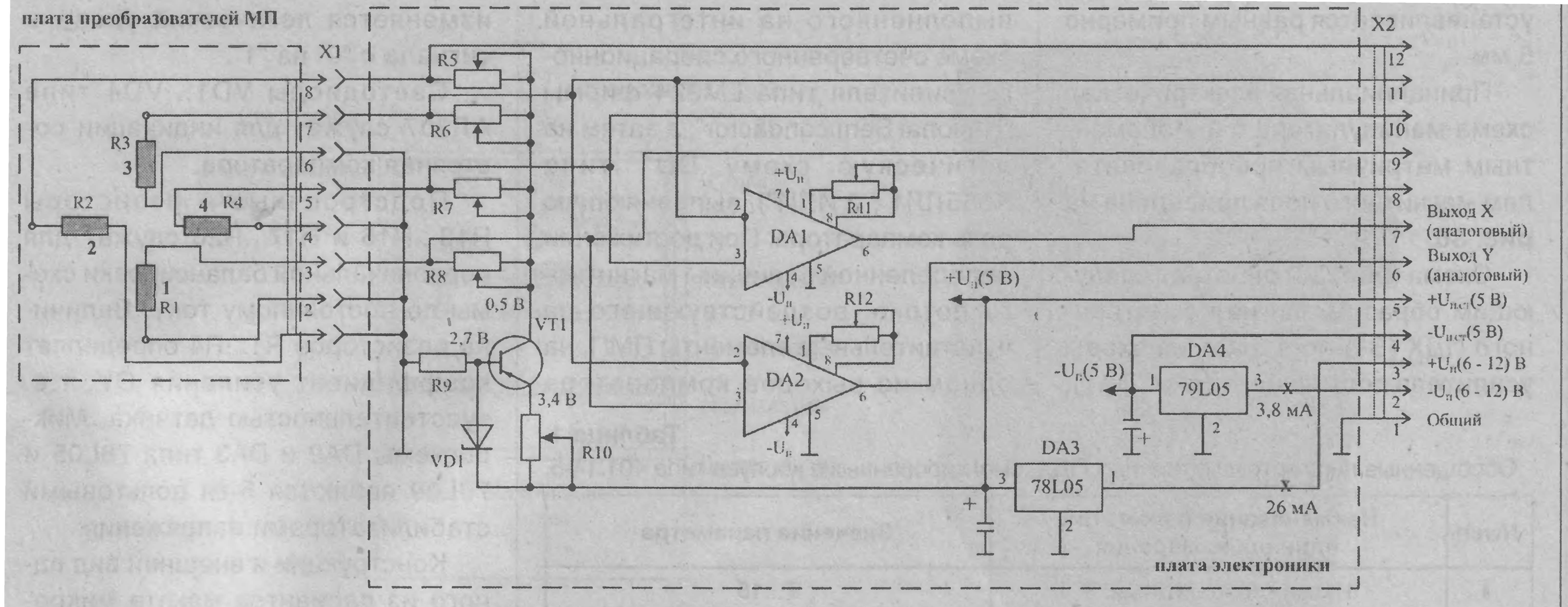


Рис. 33. Принципиальная электрическая схема двухосевого манипулятора с применением магниторезисторов типа СМ4-1

R1...R4 - магниторезисторы типа СМ4-1, 50 Ом;
R5...R8 - подстроечные многооборотные резисторы типа СП5-3, 100 Ом;
R9 - резистор типа МЛТ-0,125, 1кОм;
R10 - подстроечный многооборотный резистор типа СП5-3, 300 Ом;
R11, R12 - подстроечные многооборотные резисторы типа СП5-3, 47 кОм;
VD1 - стабилитрон на 2,7 В;
VT1 - транзистор КТ-361Г;
DA, DA2 - инструментальный усилитель типа АМР04

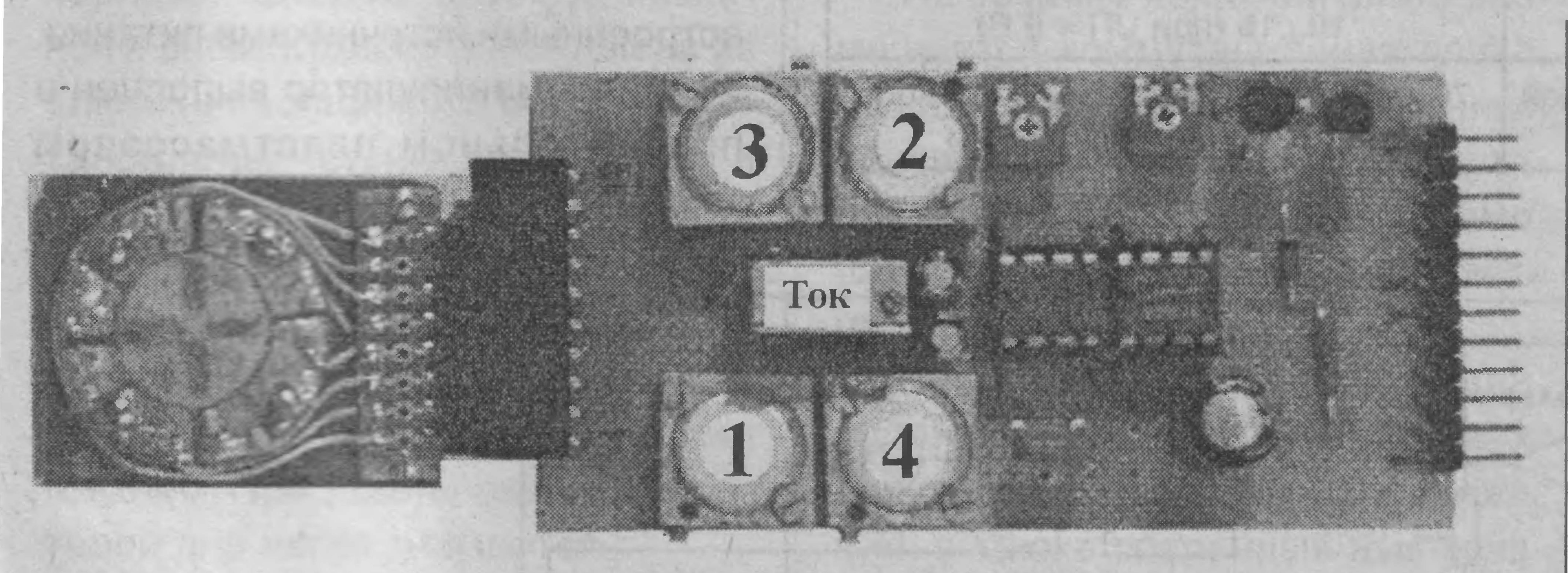


Рис. 34. Внешний вид "электронной части" двухосевого манипулятора с применением магниторезисторов типа СМ4-1

4.4. Двухосевой микроманипулятор с 4-х элементным матричным преобразователем магнитного поля

В одном из вариантов манипулятора в качестве ПМП автором использовался матричный полевой датчик Холла (МПДХ).

Матричный ПДХ представляет собой кремниевый кристалл, на котором при помощи КНИ-технологии сформированы четыре полевых датчика Холла, а также их цепи питания, экран (охранный электрод), проводники и контактные площадки. Размер кристалла – 1,1х1,1х0,6 мм.

Цепи питания всех датчиков соединены параллельно и выведены на соответствующие контактные площадки. Охранный электрод является общим для всех датчиков. Выводы от затворов элементов выведены на отдельные контактные площадки.

Магниточувствительные элементы расположены в два ряда. Размер активной зоны каждого элемента – 0,05х0,15 мм. Зазор по горизонтали – 0,14 мм. Зазор по вертикали – 0,25 мм.

Упрощенная топология кристалла МПДХ приведена на **рис. 35**.

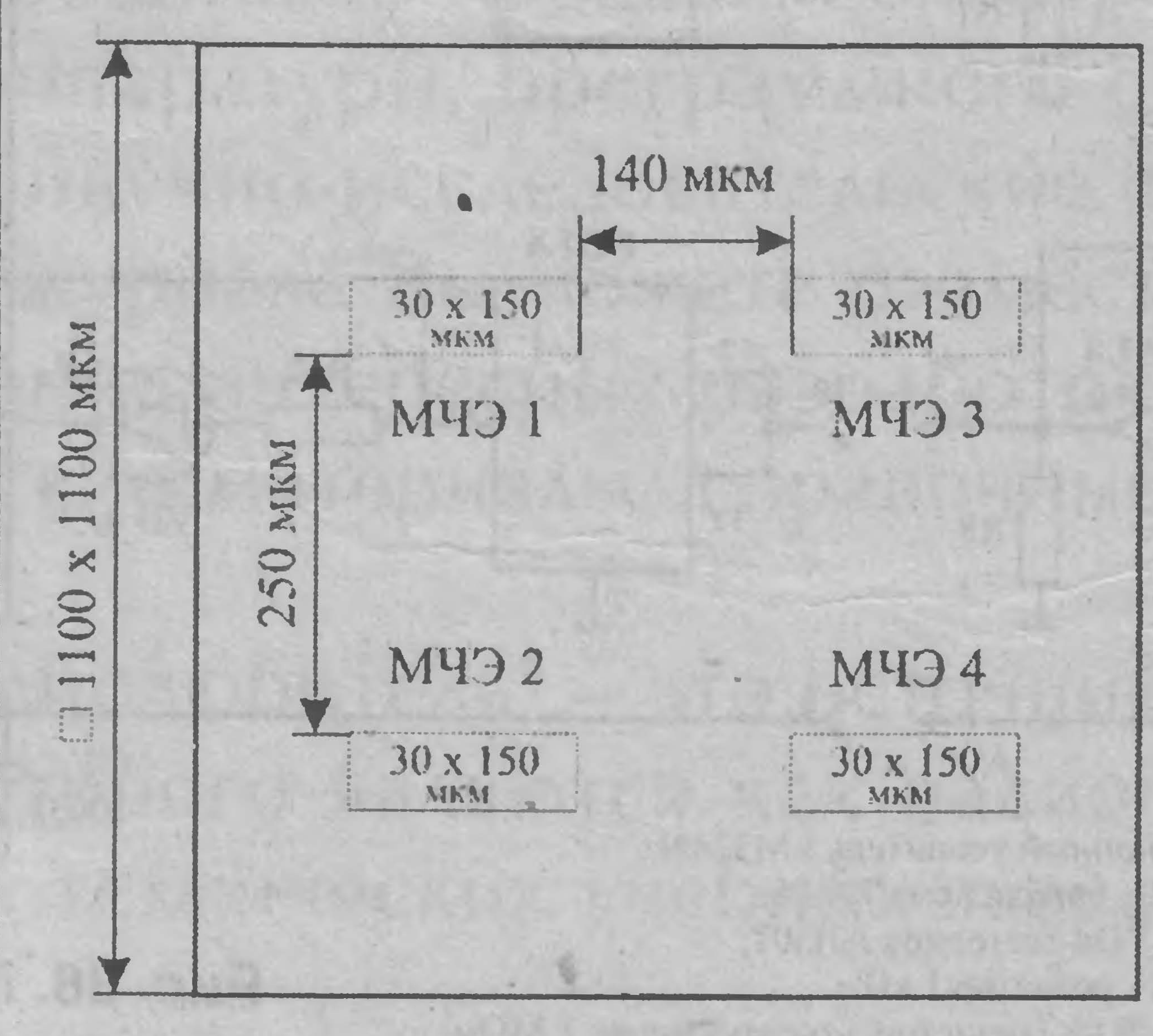


Рис. 35. Топология кристалла матричного ПДХ

Конструктивно МПДХ размещался в стандартном металлостеклянном корпусе типа 401.14-5.

Рамка и дно корпуса выполнены из магнитного материала – ковара (29НК). Кристалл укреплен на дне корпуса при помощи электропроводящего клея типа "контактол". Окно корпуса защищено алюминиевой крышкой.

Обобщенные параметры матричных ПДХ, смонтированных в корпусе типа 401.14-5, приведены в **таблице 1**. Параметры МПДХ приведены по результатам измерений партии приборов в количестве 100 шт.

Конструкция макета микроманипулятора аналогична приведенной на **рис. 26**.

Матричный датчик Холла размещается на коммутационной плате. Над этой платой устанавливается шаровая опора, рукоятка и шток, на котором укреплен постоянный магнит. Магнит изготовлен из сплава "самарий-кобальт". Габаритные размеры магнита – диаметр 4 мм, длина 2 мм. Величина индукции магнита составляет 120 мТл.

Конструкция манипулятора позволяет свободно перемешать магнит в приемной плоскости МПДХ по осям "X" и "У". Длина штока манипулятора регулируется. Расстояние от магнита до чувствительного элемента

устанавливается равным примерно 5 мм.

Принципиальная электрическая схема манипулятора с 4-х элементным матричным преобразователем магнитного поля приведена на **рис. 36**.

Схема (**рис. 36**) работает следующим образом. Сигнал с матричного ПДХ (В1) поступает на входы усилителя постоянного тока (DA1), выполненного на интегральной схеме счетверенного операционного усилителя типа LM324 фирмы "National Semicondactor", а затем на логическую схему DD1 типа К555ЛЛ1 ("2 ИЛИ"), выполняющую роль компаратора. При достижении определенной величины магнитного потока, воздействующего на чувствительные элементы ПМП, на одном из выходов компаратора изменяется логический уровень сигнала с "0" на "1".

Светодиоды VD1...VD4 типа АЛ307 служат для индикации состояния компаратора.

Подстроечные резисторы R13...R16 и R17...R20 служат для первоначальной балансировки схемы по постоянному току. Величина резисторов R1...R4 определяет коэффициент усиления ОУ, т.е. чувствительностью датчика. Микросхемы DA2 и DA3 типа 78L05 и 79L09 являются 5-ти вольтовыми стабилизаторами напряжения.

Конструкции и внешний вид одного из вариантов макета микроманипулятора с 4-х элементным матричным преобразователем магнитного поля приведены на **рис. 37**.

Микроманипулятор представляет собой автономную конструкцию с встроенными источниками питания.

Микроманипулятор выполнен в прямоугольном пластмассовом

Таблица 1.

Обобщенные параметры матричных ПДХ, смонтированных в корпусе типа 401.14-5.

№п/п	Наименование параметра, единица измерения	Значение параметра
1	Напряжение питания, В	7...15
2	Ток управления, мкА	500...800 (при UП = 9 В)
3	Остаточное напряжение, мВ	от -27 до +40 (при UП = 9 В)
4	Магнитная чувствительность, мВ/мТл	0,088...0,118 (при UП = 9 В)
5	Входное сопротивление, кОм	11...17 (при UП = 9 В)
6	Выходное сопротивление, кОм	10...15 (при UП = 9 В)
7	Коэффициент магнитоэлектрической связи между элементами, %	70...90, при размещении кристалла на коваровом основании

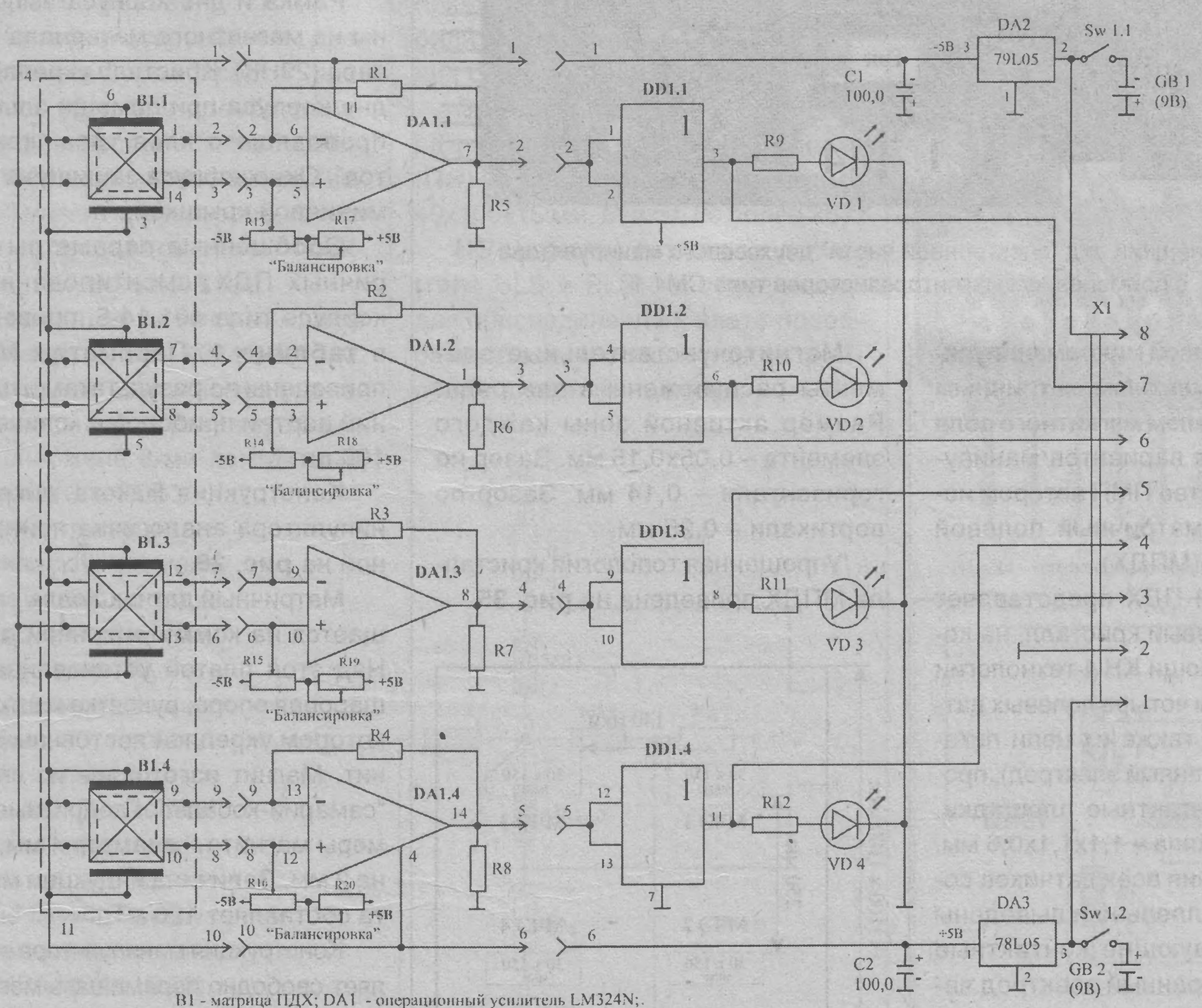
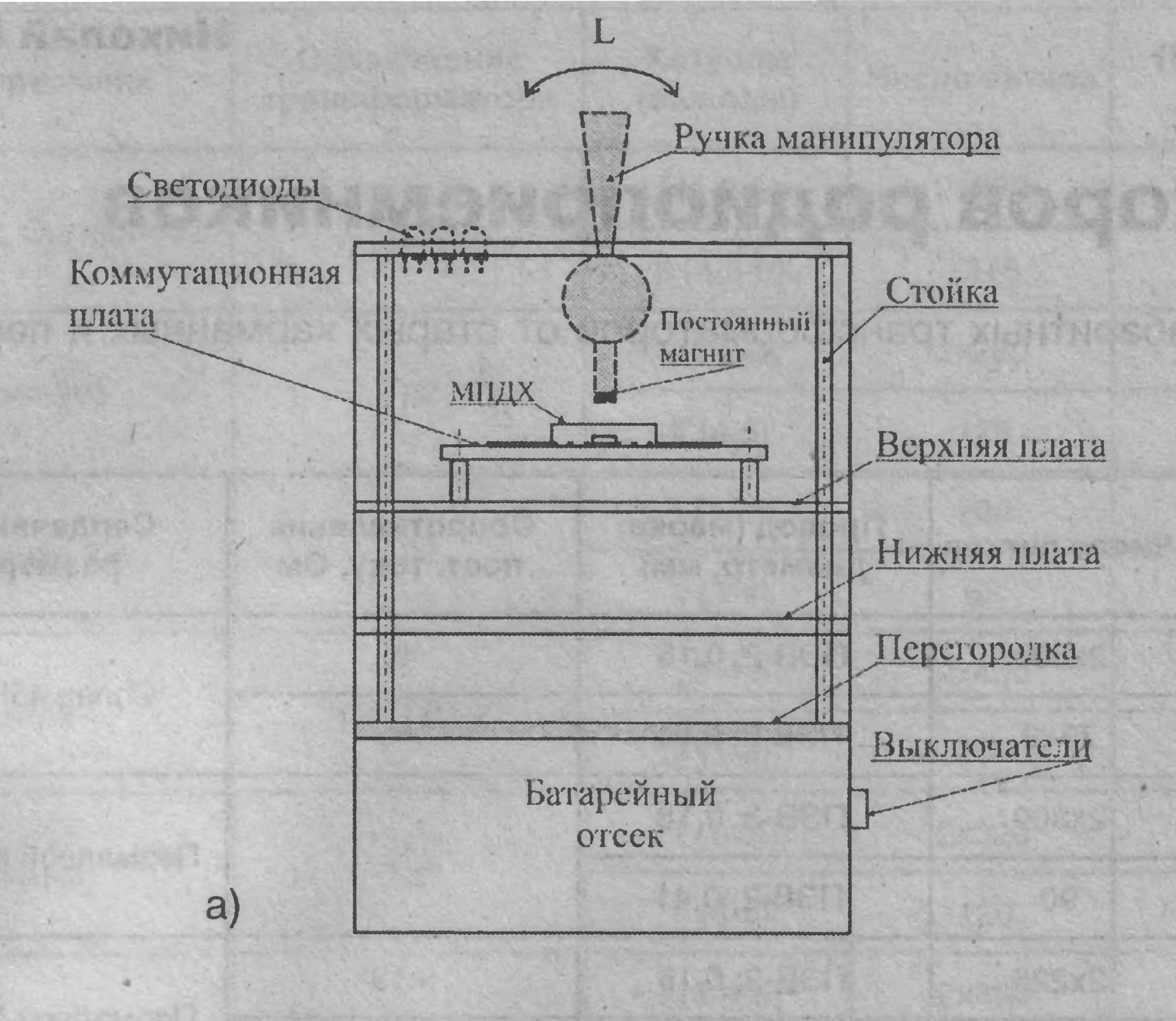


Рис. 36. Принципиальная электрическая схема микроманипулятора с 4-х элементным матричным преобразователем магнитного поля



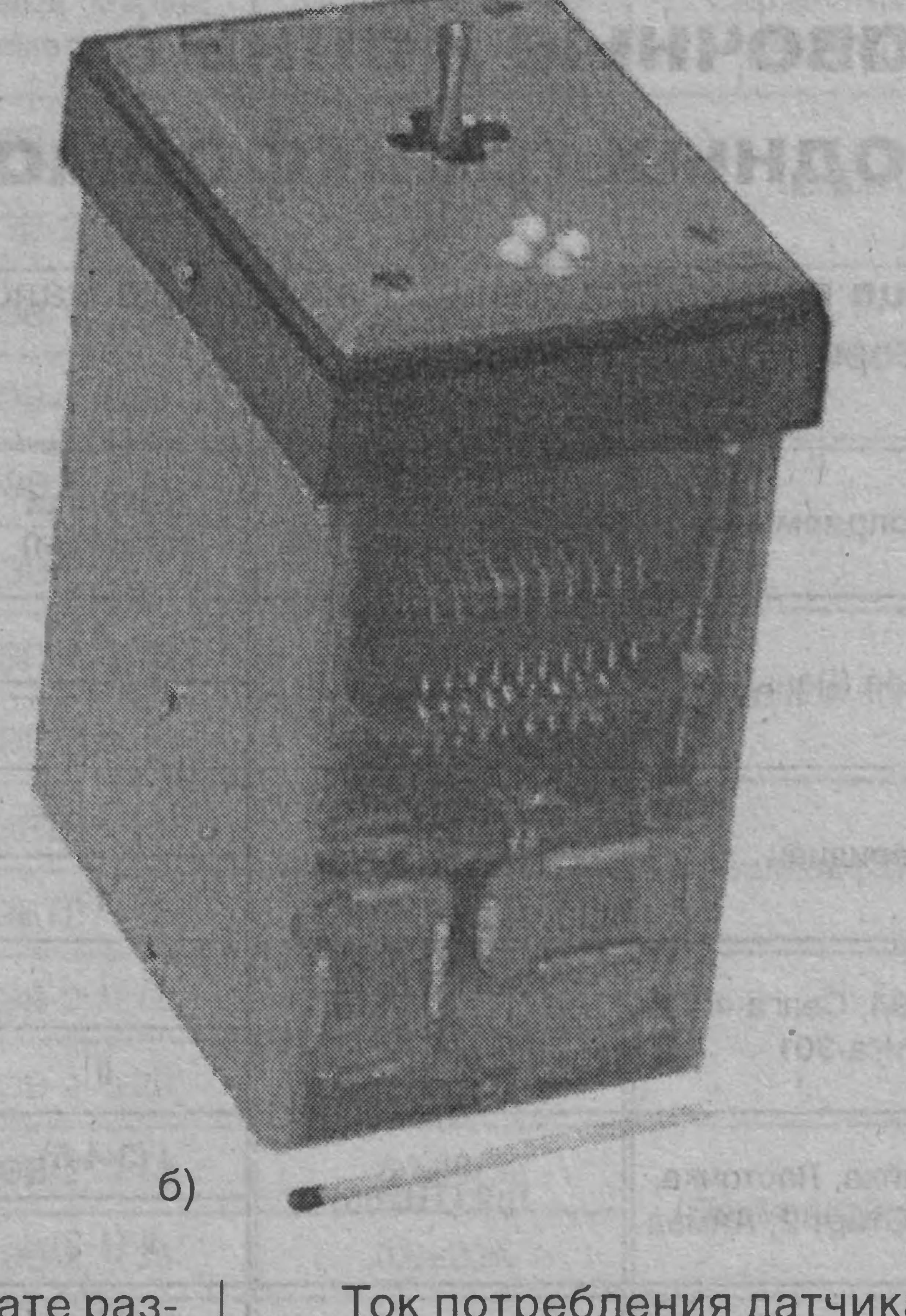


Рис. 37. Конструкция (а) и внешний вид (б) микроманипулятора с 4-х элементным матричным преобразователем магнитного поля

корпусе, который снабжен крышкой и дном. Крышка изготовлена из алюминия толщиной 5 мм. В ней установлены четыре светодиода и ручка манипулятора со штоком и укрепленным на нем магнитом.

Дно корпуса изготовлено из оргстекла толщиной 4 мм и крепится к корпусу четырьмя винтами М1,6 мм. При замене комплекта батарей дно легко снимается.

Корпус манипулятора разделен на два отсека. В верхнем отсеке размещена "этажерка", на которой размещены две печатные платы с электрорадиоэлементами. Крышка корпуса и обе печатные платы соединяются четырьмя стойками с резьбой М3.

На верхней печатной плате размещается коммутационная плата, на которой установлен матричный полевой ДХ. Конструкция коммутационной платы позволяет перемещать ее параллельно поверхности верхней платы.

В нижнем отсеке корпуса манипулятора установлена плата двухполярного стабилизатора напряжения, а также спаренный выключатель питания (Sw 1) и две 9-ти вольтовые батареи типа "Крона".

Для соединения с внешними цепями манипулятор снабжен кабелем с 8-ми контактным разъемом типа РШ2Н-1-1Н (на **рис. 37** не показан).

Некоторые параметры макета манипулятора приведены ниже.

Ток потребления датчика от батарей типа "Крона" составляет 10 (43) мА – по цепи питания "плюс" и 41 (3,7) мА по цепи питания "минус". В скобках указаны токи, потребляемые при всех включенных светодиодах VD1...VD4.

Рабочий ход рукоятки манипулятора составляет 1 мм в радиусе. Ориентировочная позиционная чувствительность манипулятора составляет порядка 0,05 мм.

Габаритные размеры макета микроманипулятора – 53,5х69,2х96,8 мм, масса – 280 г (с комплектом батарей "Крона").

5. Манипуляторы, управляемые вращением рукоятки

В данном типе манипуляторов перемещение управляемого магнита осуществляется при вращении рукоятки.

При этом управляющий магнит может перемещаться как возвратно-поступательно и перпендикулярно плоскости МЧЭ преобразователя магнитного поля, так и вращаться в плоскости, параллельной магниточувствительному элементу.

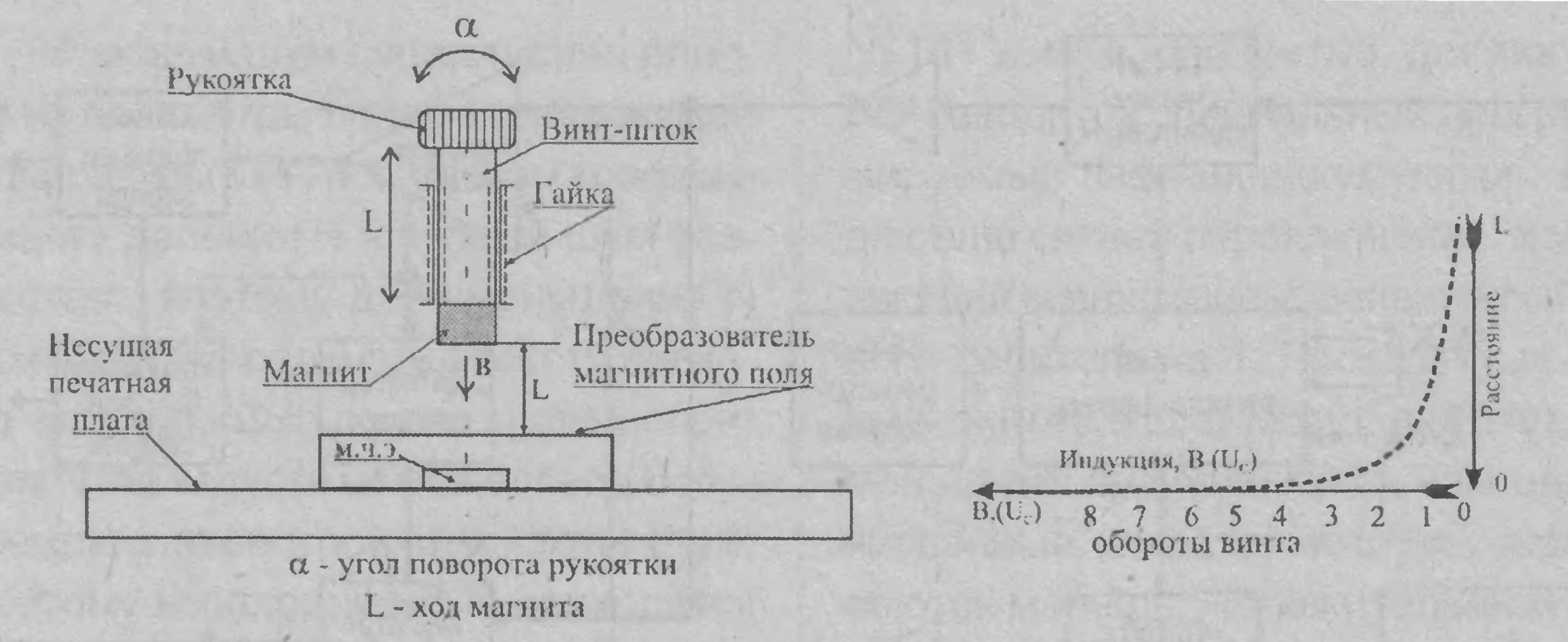


Рис. 38. Конструктивная схема “многооборотного” манипулятора

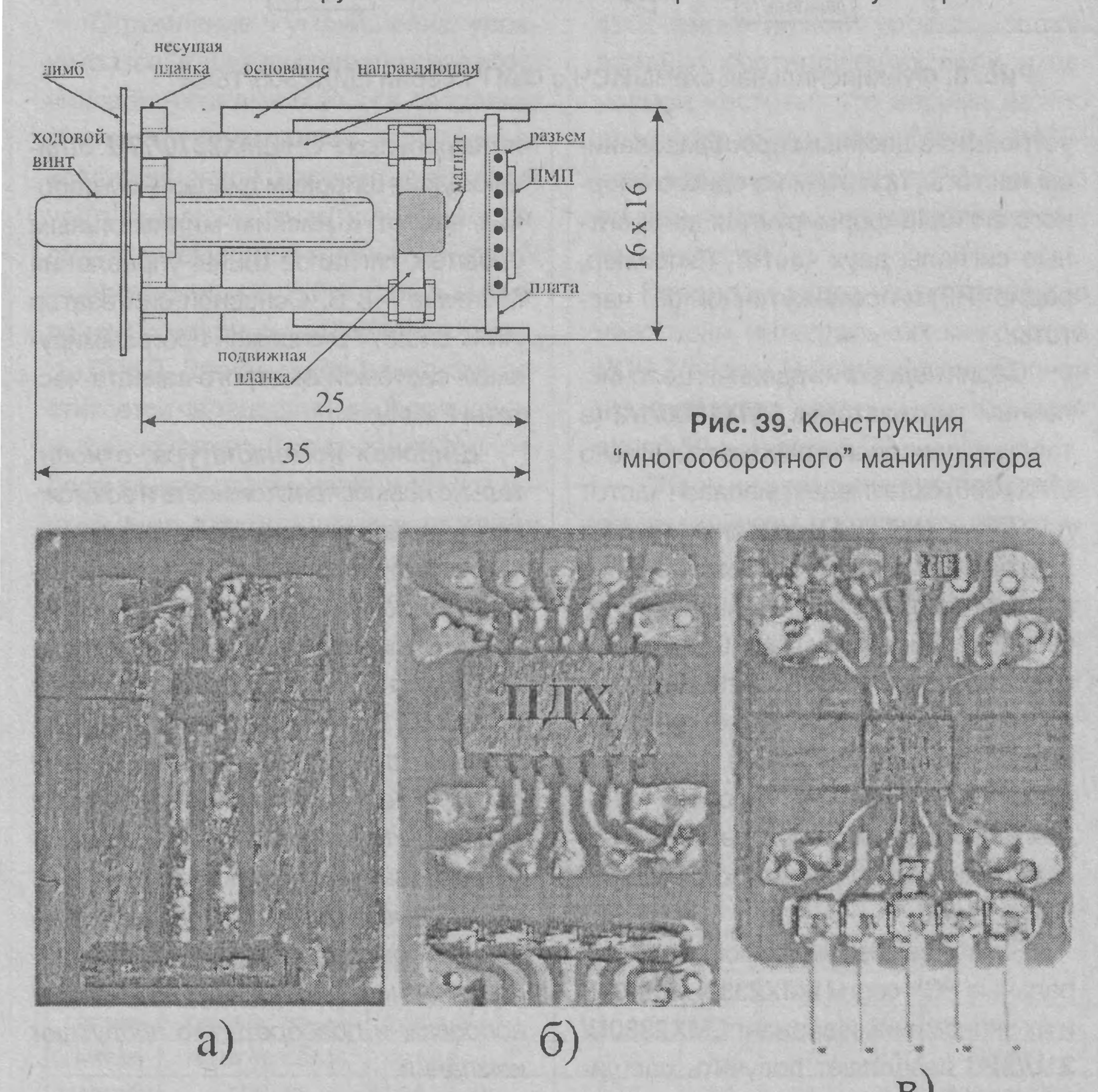


Рис. 39. Конструкция “многооборотного” манипулятора

Рис. 40. Внешний вид плат с различными ПМП: а - с бескорпусным датчиком Холла типа ПХИ; б - с ПДХ в корпусе 401.14-3; в - с магниточувствительной ИС типа AD22151

5.1. “Многооборотный” манипулятор

Конструктивная схема “многооборотного” манипулятора приведена на **рис. 38**.

Принцип работы манипулятора (**рис. 38**) сводится к тому, что при вращении рукоятки управляющий магнит движется возвратно-поступательно перпендикулярно плоскости МЧЭ преобразователя магнитного поля. При этом величина индукции магнитного поля, воздействующего на ПМП, изменяется по закону, близкому к $B = B_0/L^3$, (где B_0 – индукция магнита при L = 0).

На **рис. 39** приведена конструкция “многооборотного” манипулятора, реализованная по указанному принципу.

На несущем П-образном алюминиевом основании закреплены элементы, необходимые для перемещения управляющего магнита, и печатная плата с преобразователем магнитного поля.

В качестве управляющего элемента использован магнит из сплава “неодим-железо-бор” с геометрическими размерами ∅6x4 мм. Величина индукции магнита порядка 200 мТл.

Магнит, закрепленный на специальной планке, перемещался относительно ПМП при помощи ходового винта М4 с шагом 0,75 мм. Полный ход магнита составляет 12 мм (15 оборотов ходового винта). Величина рабочего хода определялась на линейном участке характеристики $U_c = F(L)$. Рабочий ход магнита, в пределах линейного диапазона, составлял 5 мм.

В качестве отсчетного устройства использовался лимб с нониусом от прецизионного линейного потенциометра типа ПЛ1-1.

В качестве преобразователей магнитного поля исследовались: ПДХ в корпусе 401.14-3, элемент Холла типа ПХИ-611 и магниточувствительная ИС типа AD22151, которые размещались на отдельной печатной плате. На печатной плате размещен 5-ти контактный разъем типа PLS. Габаритные размеры платы 30x40x1,5 мм.

Внешний вид плат с различными ПМП приведен на **рис. 40**.

Внешний вид “многооборотного” манипулятора приведен на **рис. 41**.

Габаритные размеры манипулятора – 19x19x35 мм, масса, не более 30 г.

Выходная характеристика “многооборотного” манипулятора соответствует отношению $B = B_0/L^3$.

При использовании датчика типа ПХИ-611 и при токе управления, равном 0,7 мА, средняя крутизна преобразования на линейном участке характеристики составляла порядка 15 мВ/мм.

Манипулятор с полевым датчиком Холла в корпусе 401.14-3 (Ап = 0,5x0,5 мм) при напряжении питания, равном 9 В, имеет в три раза меньшую крутизну преобразования.

Точность позиционирования манипулятора определяется шагом ведущего винта и может быть повышена при использовании ведущего винта с шагом 0,5 мм или менее.

“Многооборотный” манипулятор можно использовать в качестве

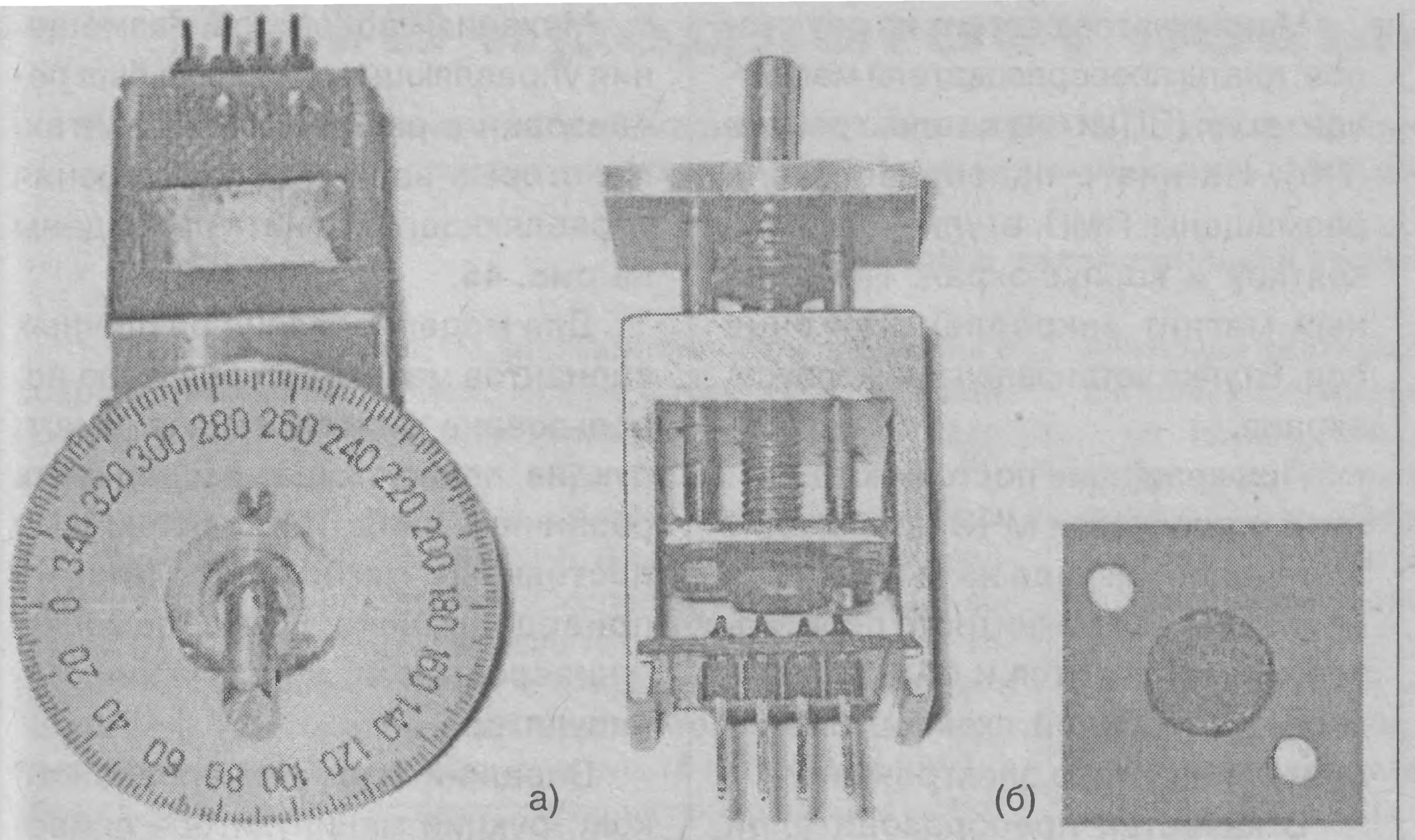
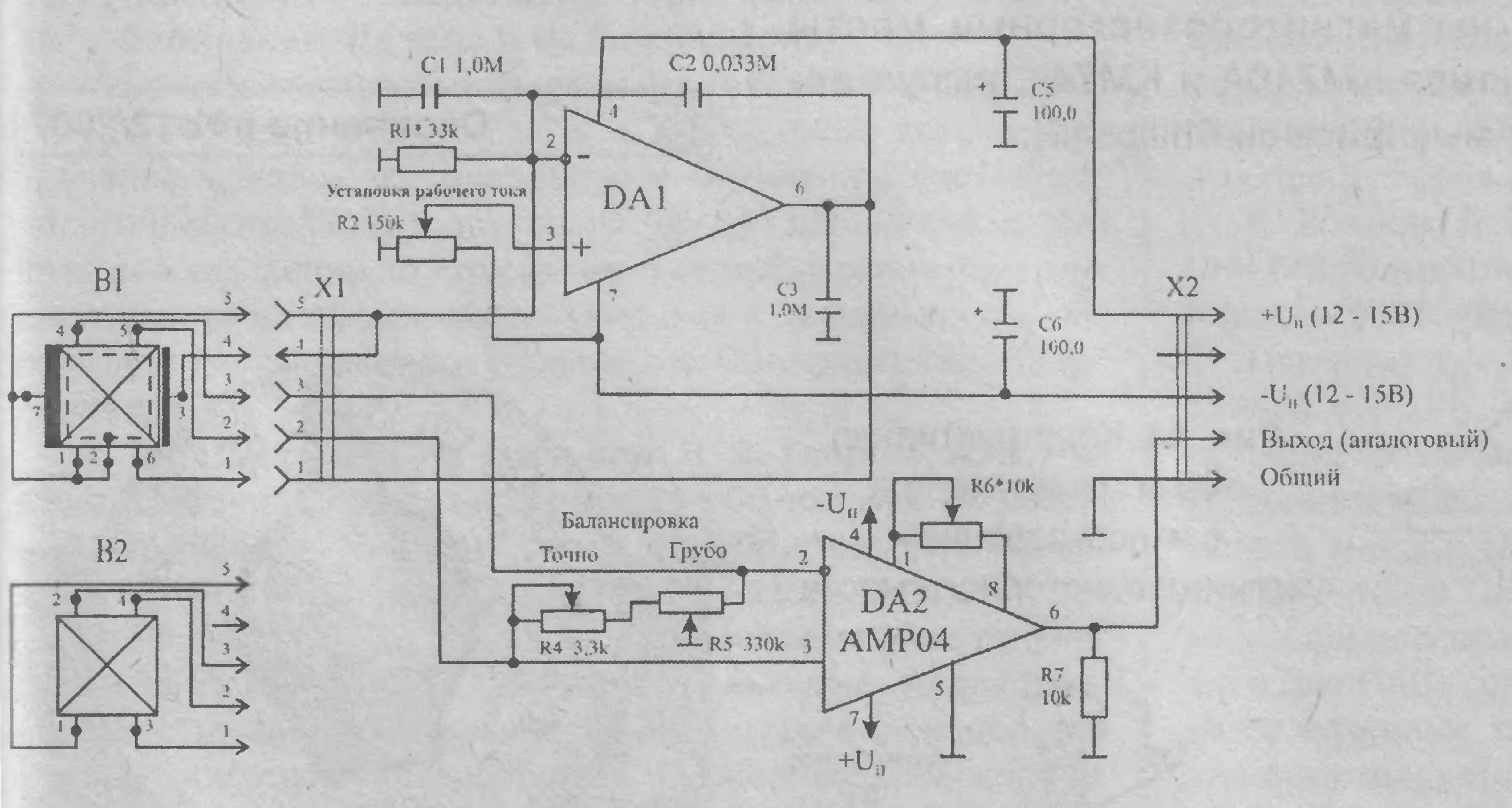
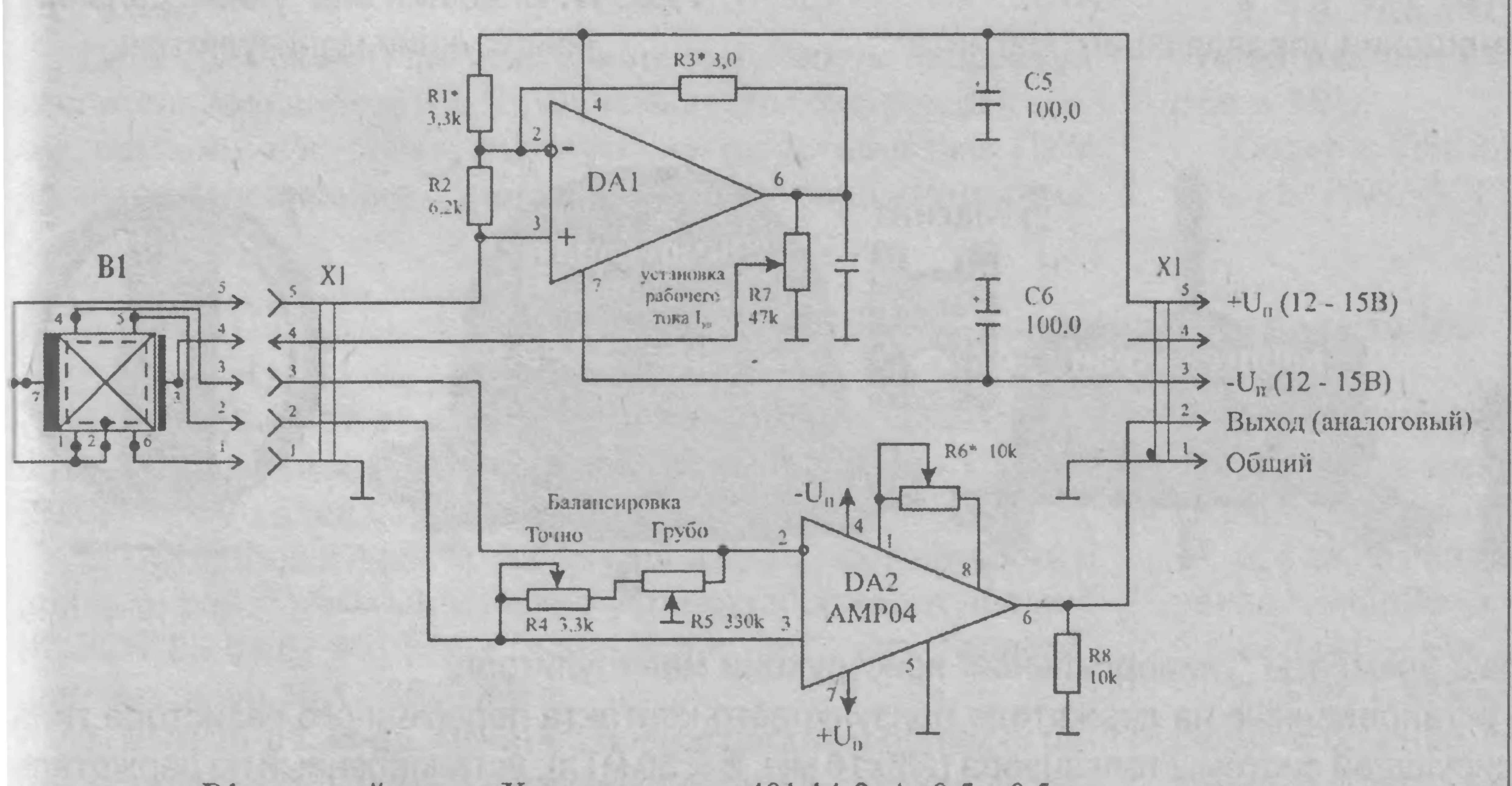


Рис. 41. Внешний вид: а - “многооборотного” манипулятора; б - планки с магнитом



B1 - полевой датчик Холла в корпусе 401.14-2, A=0,5 x 0,5 мм;
B2 - бескорпусной датчик Холла типа ПХИ-611;
DA1 - операционный усилитель типа 574УД1;
DA2 - микросхема инструментального усилителя типа AMP04;
R2, R4, R5, R6 - многоборотные подстроечные резисторы.

Рис. 42. Принципиальная электрическая схема усилителя сигнала с источником тока для питания ПДХ



B1 - полевой датчик Холла в корпусе 401.14-2, A=0,5 x 0,5 мм;
DA1 - операционный усилитель типа 574УД1;
DA2 - микросхема инструментального усилителя типа AMP04;
R4, R5, R6, R7 - многоборотные подстроечные резисторы.

Рис. 43. Принципиальная электрическая схема усилителя сигнала, использующая затвор ПДХ для стабилизации тока управления

датчика угла поворота, для чего на линейном участке выходной характеристики выбирают отрезок, соответсвующий одному обороту ходового винта (рукоятки).

При использовании датчика типа ПХИ-611 и при токе управления, равном 0,7 мА, средняя крутизна преобразования на различных участках выходной характеристики составляла порядка от 0,0028 до 0,005 мВ/градус. Крутизна преобразования может быть повышена при использовании ходового винта с увеличенным шагом до 1 мм и более.

Для усиления сигнала с ПМП были исследованы две принципиальные электрические схемы, приведенные на **рис. 42** и **рис. 43**.

В схеме, приведенной на **рис. 42**, элемент Холла питается от источника тока, реализованном на операционном усилителе DA1. Рабочий ток управления датчика устанавливается при помощи многооборотного подстроечного резистора R5.

В качестве усилителя сигнала датчика использована интегральная схема инструментального усилителя типа AMP04 фирмы Analog Devices (DA2).

Подстроечные резисторы R4 и R5 служат для первоначальной балансировки схемы по постоянному току, а резистор R6 – для установки коэффициента усиления микросхемы DA2.

Принципиальная схема усилителя сигнала, приведенная на **рис. 43**, использует затвор ПДХ для стабилизации его рабочего тока. Ток управления устанавливается при помощи подстроечного резистора R7 [1].

В качестве усилителя сигнала датчика использована интегральная схема инструментального усилителя типа AMP04 фирмы Analog Devices (DA2).

Подстроечные резисторы R4 и R5 служат для первоначальной балансировки схемы по постоянному току, а резистор R6 – для установки коэффициента усиления микросхемы DA2.

При использовании в “многооборотном” манипуляторе в качестве

ПМП магниточувствительной ИС типа AD22151, последняя включается в типовом режиме [1, 2]. Специальной схемы усиления в данном случае не требуется.

5.2. Манипуляторы с использованием магниторезисторных мостов серии KMZ

Конструктивная схема манипулятора с использованием магниторезисторного моста приведена на **рис. 44**.

Конструктивная схема манипулятора, приведенная на **рис. 44**, не требует особых пояснений.

Манипулятор состоит из двух узлов: платы преобразователя магнитного поля (ПП) и платы электроники (ПЭ). На плате преобразователя размещены: ПМП, втулка, ось с рукояткой и корпус-экран. Постоянный магнит закреплен на конце оси. Втулка установлена на корпусе-экране.

При вращении постоянного магнита в плоскости МЧЭ происходит изменение сигнала на выходе преобразователя магнитного поля, который усиливается и обрабатывается электронной схемой, размещенной на плате электроники.

В качестве преобразователей магнитного поля были исследованы магниторезисторные мосты типа KMZ10A и KMZ41, выпускаемые фирмой Philips [2].

Механизм поворота и размещения управляющего магнита был реализован в различных вариантах. Некоторые варианты размещения управляющего магнита приведены на **рис. 45**.

Для моделирования различных вариантов манипуляторов была использована "универсальная" конструкция, позволяющая исследовать различные типы ПМП и различные постоянные магниты. На **рис. 46** приведены некоторые элементы "универсальной" конструкции манипулятора.

Внешний вид "универсальной" конструкции манипулятора приведен на **рис. 47**.

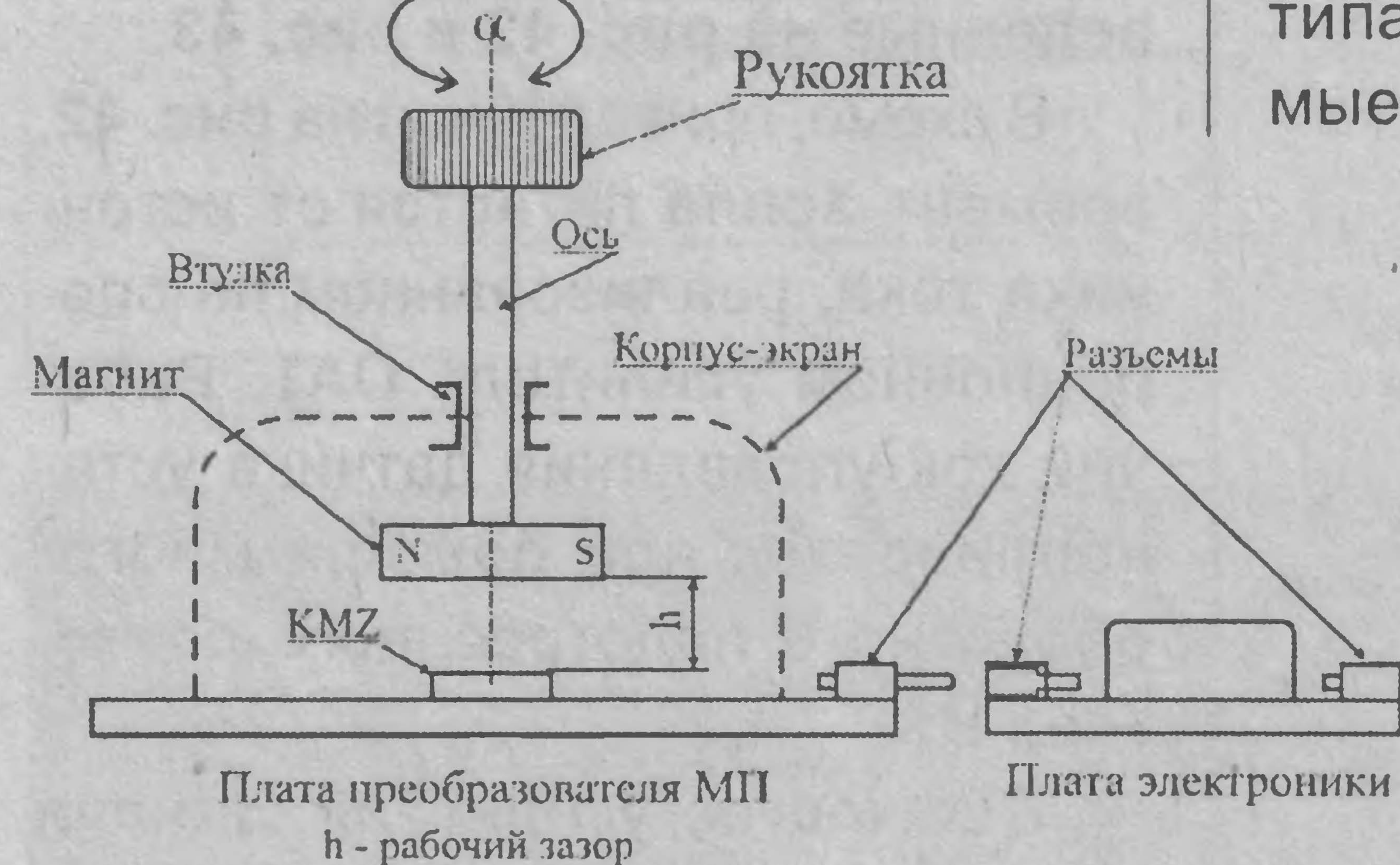
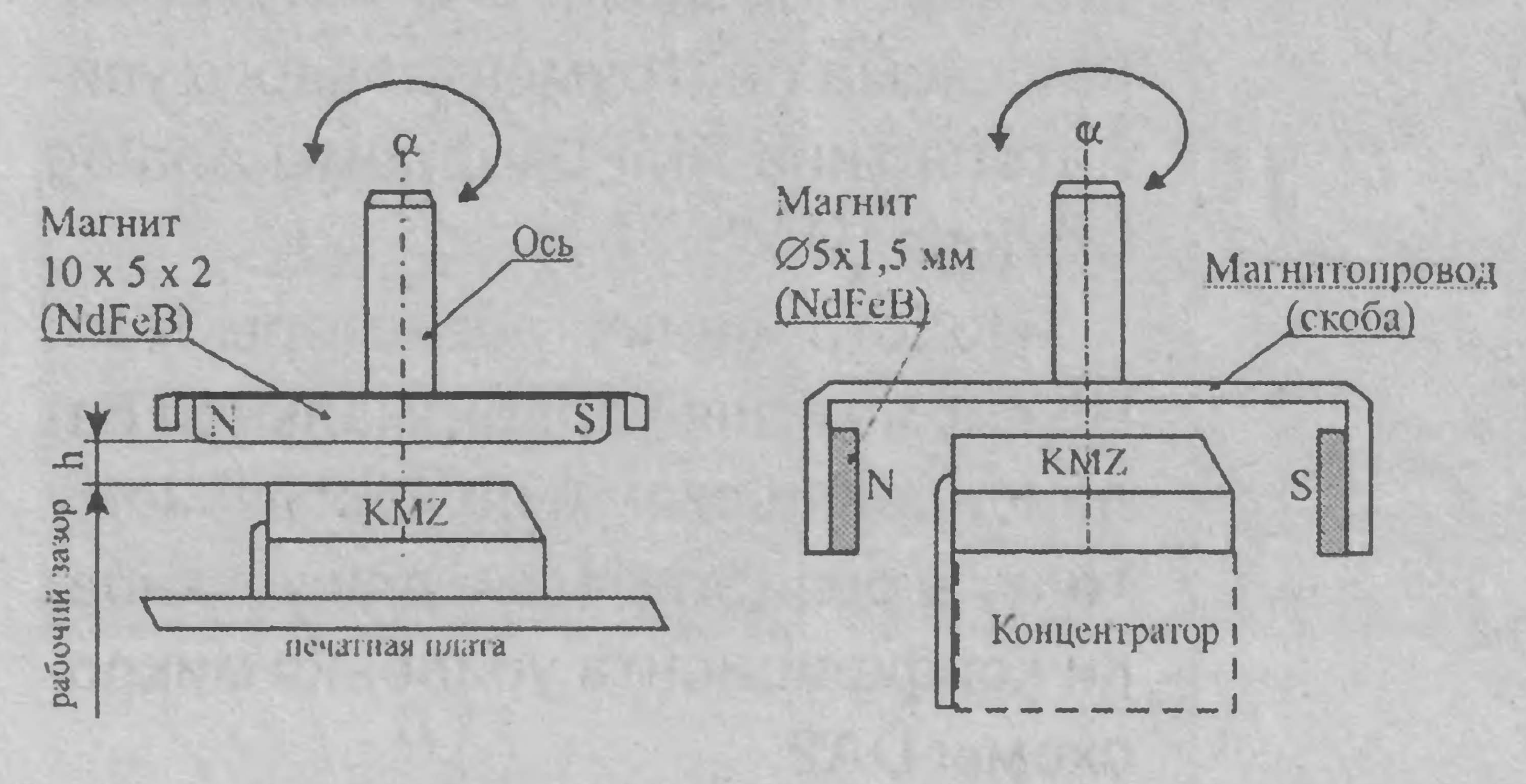


Рис. 44. Конструктивная схема манипулятора с использованием магниторезисторного моста



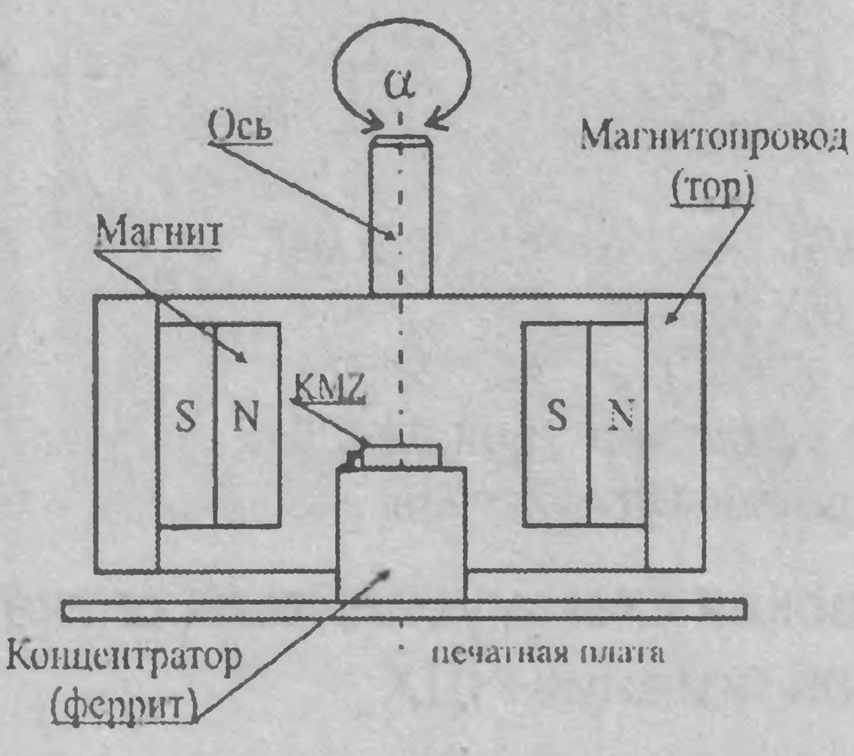


Рис. 45. Некоторые варианты размещения управляющего магнита

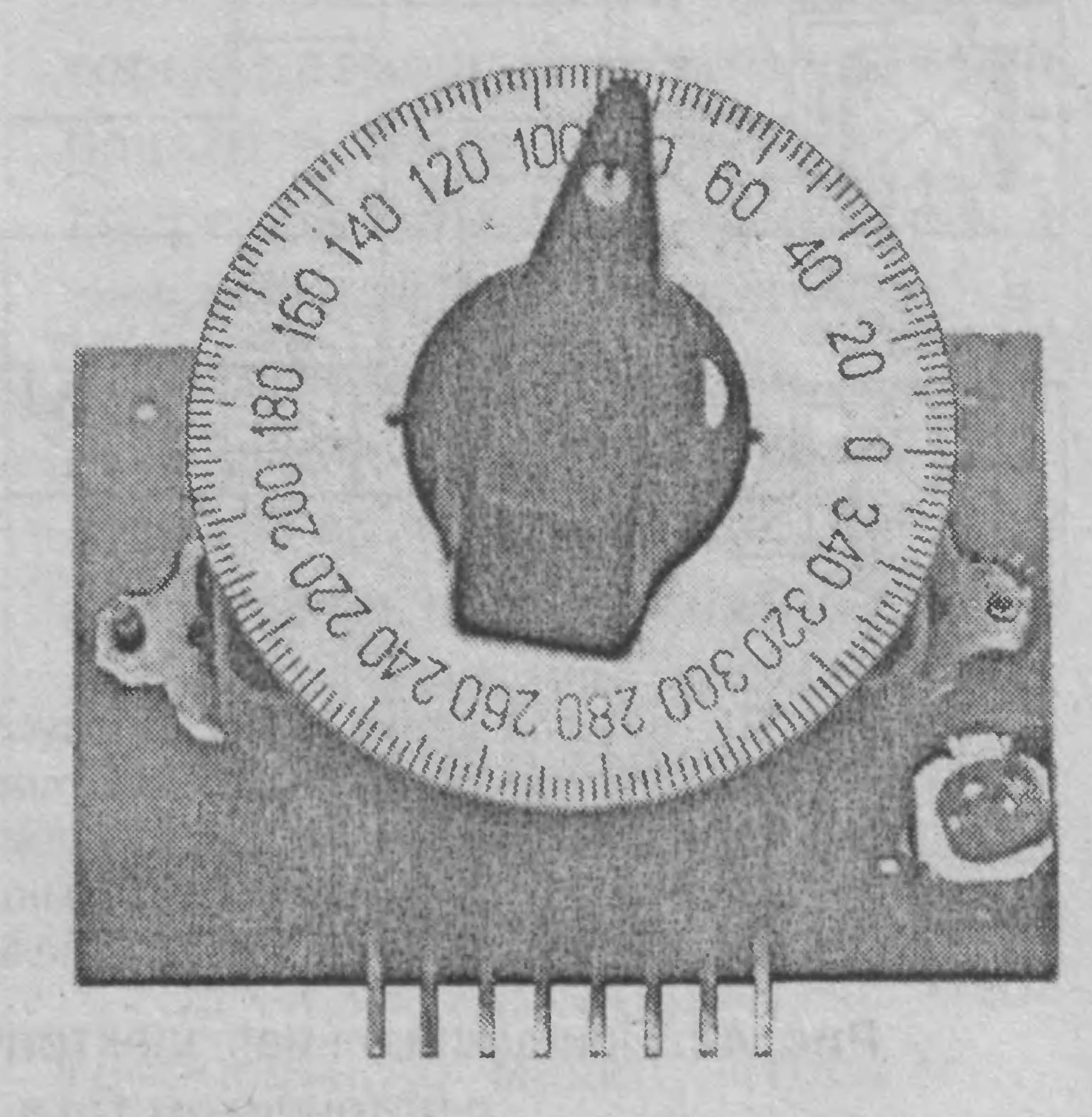


Рис. 47. Внешний вид "универсальной" конструкции манипулятора



Рис. 46. Некоторые элементы "универсальной" конструкции манипулятора:
1 - два магнита (∅3x3 мм, B = 110 мТл), установленные на держателе ползункового контакта переменного резистора типа СП3-9а; 2 - керамический магнит от фокусирующей системы телевизора (∅8x10 мм, B = 30 мТл), установленный на держателе ползункового контакта переменного резистора типа СП3-33-32; 3 - магнит из сплава "неодим-железо-бор" (10x5x1,5 мм, B = 200 мТл), установленный на держателе ползункового контакта переменного резистора типа СП3-9а; 4 и 5 - литой магнит (5) от тахометра (9,7x5,8x5,2 мм. B = 20 мТл), установленный на держателе ползункового контакта переменного резистора типа СП3-9а и размещенный в корпусе-экране; 7 - магнитная система от магнитоэлектрического измерительного прибора (∅40x15 мм, отв. ∅15 мм, B = 50 мТл).

5.2.1. Манипулятор с использованием моста KMZ10

В данном варианте манипулятора использован тонкопленочный магниторезисторный мост типа KMZ10 фирмы Philips [2, 3]. Выходная характеристика моста KMZ10 приведена на **рис. 48**.

Мост KMZ10 размещался на отдельной печатной плате (ПП). Для соединения с платой электроники ПП снабжена 8-ми контактным разъемом типа PLS. Габаритные размеры платы – 46х43х1,5 мм. Принципиальная электрическая схема и внешний вид платы приведены на **рис. 49**.

Плата устанавливалась в "универсальную" конструкцию, внешний вид которой приведен на **рис. 47**.

В этом случае магниторезисторный мост расположен в магнитном поле, создаваемом одним или двумя миниатюрными постоянными магнитами, установленными на вращающейся оси (см. **рис. 45** и **рис. 46**). Устанавливая нулевое положение магнита как параллельное оси X (т.е. с магнитным полем в H_x направлении), можно измерять угловое перемещение до ±85 градусов [3]. Сигнал на выходе моста пропорционален sin 2α.

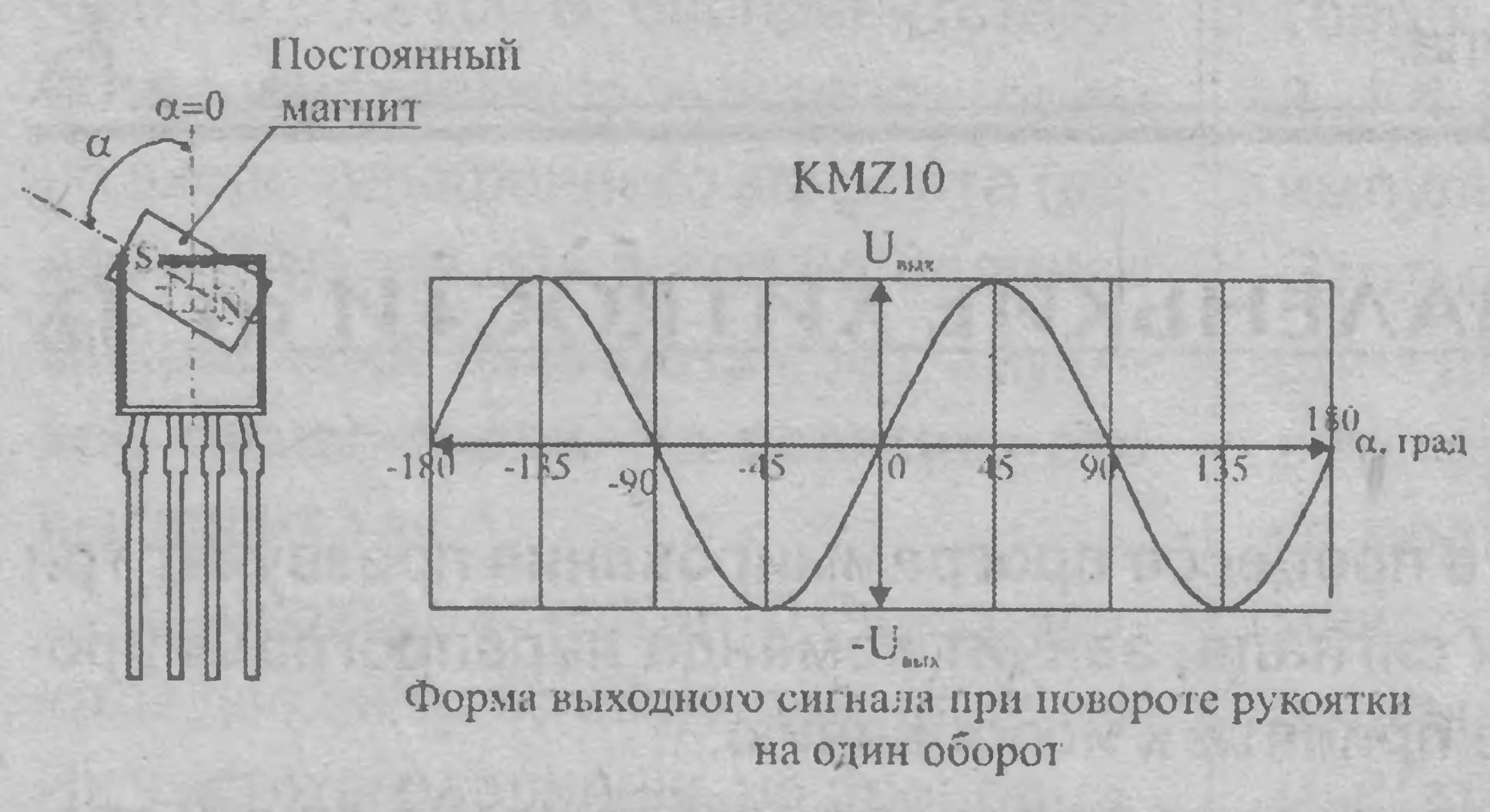
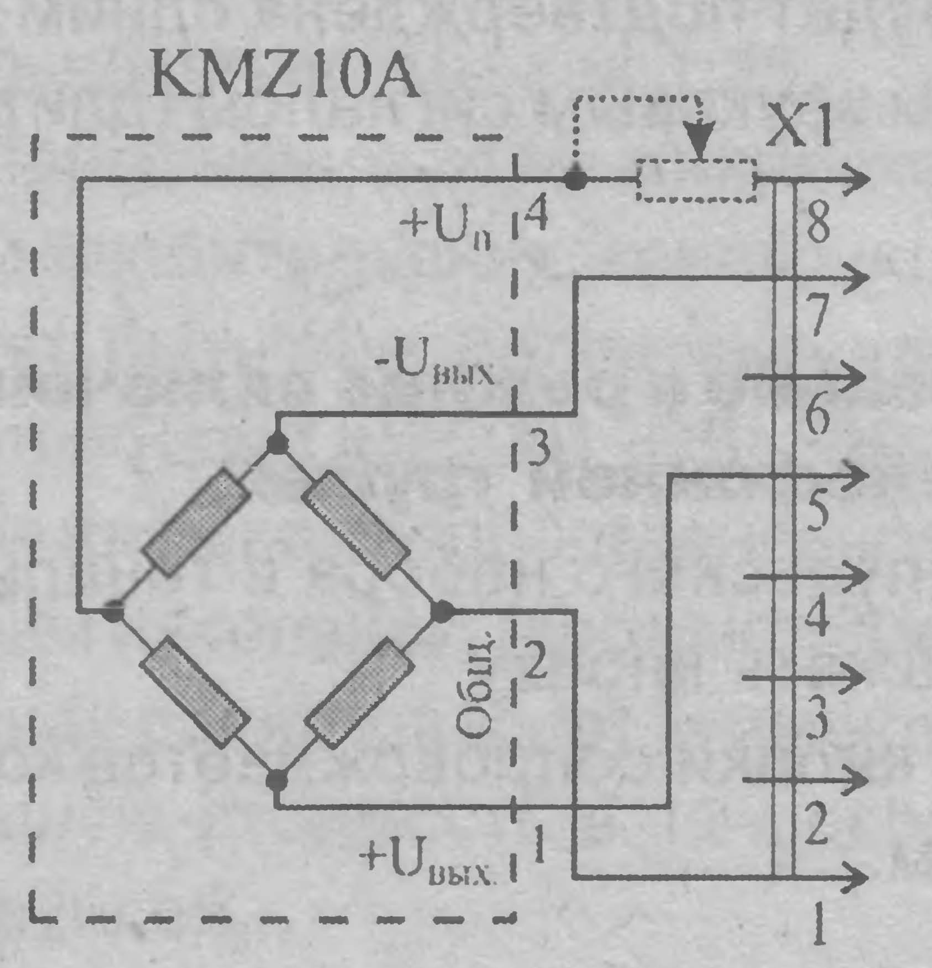


Рис. 48. Выходная характеристика моста типа KMZ10



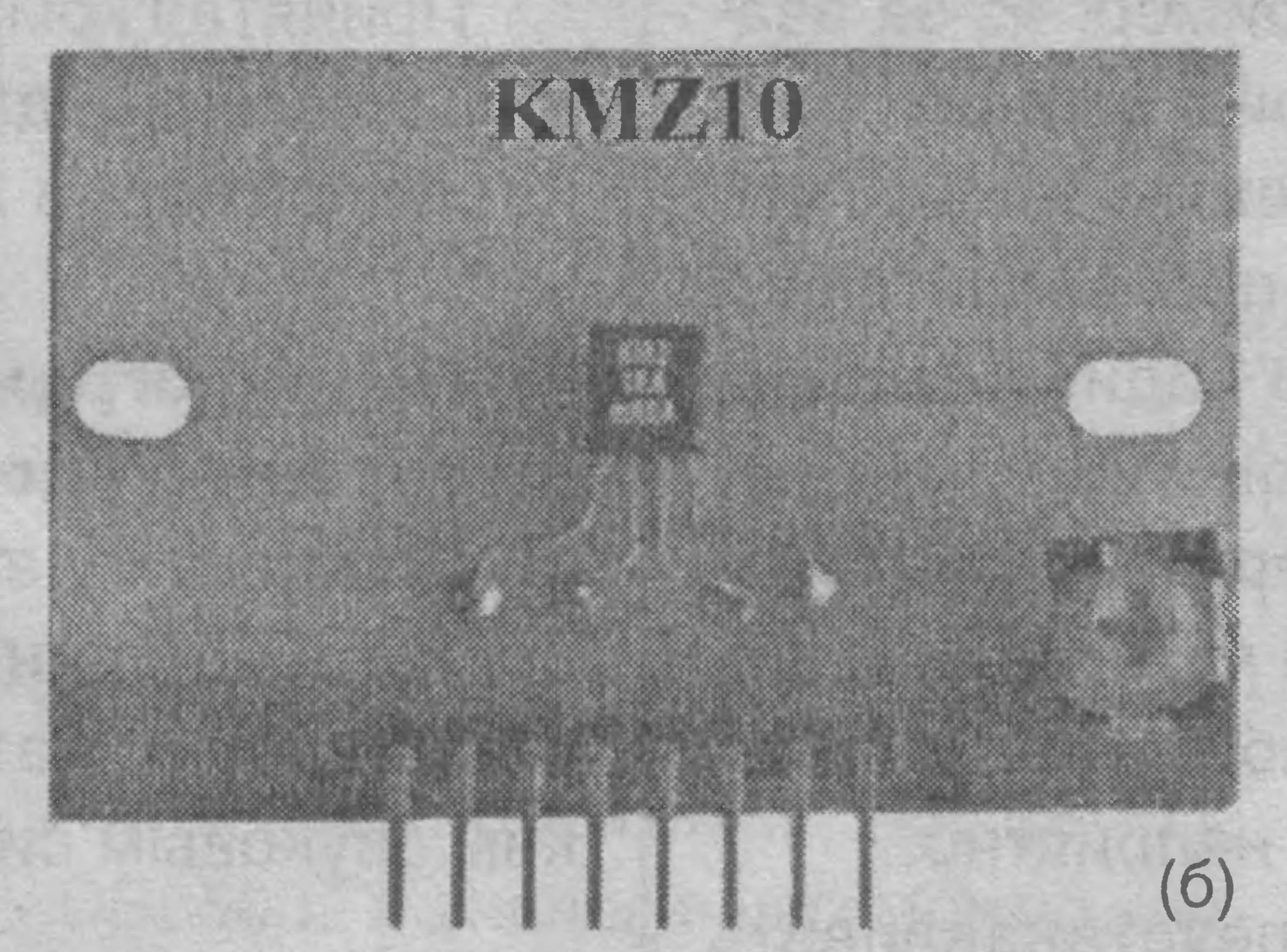


Рис. 49. Принципиальная электрическая схема (а) и внешний вид (б) платы ПП с использованием моста KMZ10

При возможном повторении приводимой конструкции необходимо обеспечить работу моста в линейном режиме. В этом случае рабочий зазор между управляющим магнитом и МЧЭ выбирается с учетом того, чтобы максимальное напряжение на выходе моста не превышало 5...6 мВ. Для обеспечения неискаженной характеристики $U_{вых}$ = F(a) необходимо тщательное изготовление узла вращения магнита, с целью обеспечения минимальных биений и максимального соблюдения соосности магнита и МЧЭ.

Для повышения уровня выходного сигнала можно использовать схему манипулятора, приведенную на **рис. 23**.

При использовании манипулятора за пределами комнатной температуры можно использовать схему, рекомендованную изготовителем моста KMZ10 (фирмы Philips) и приведенную на **рис. 50**.

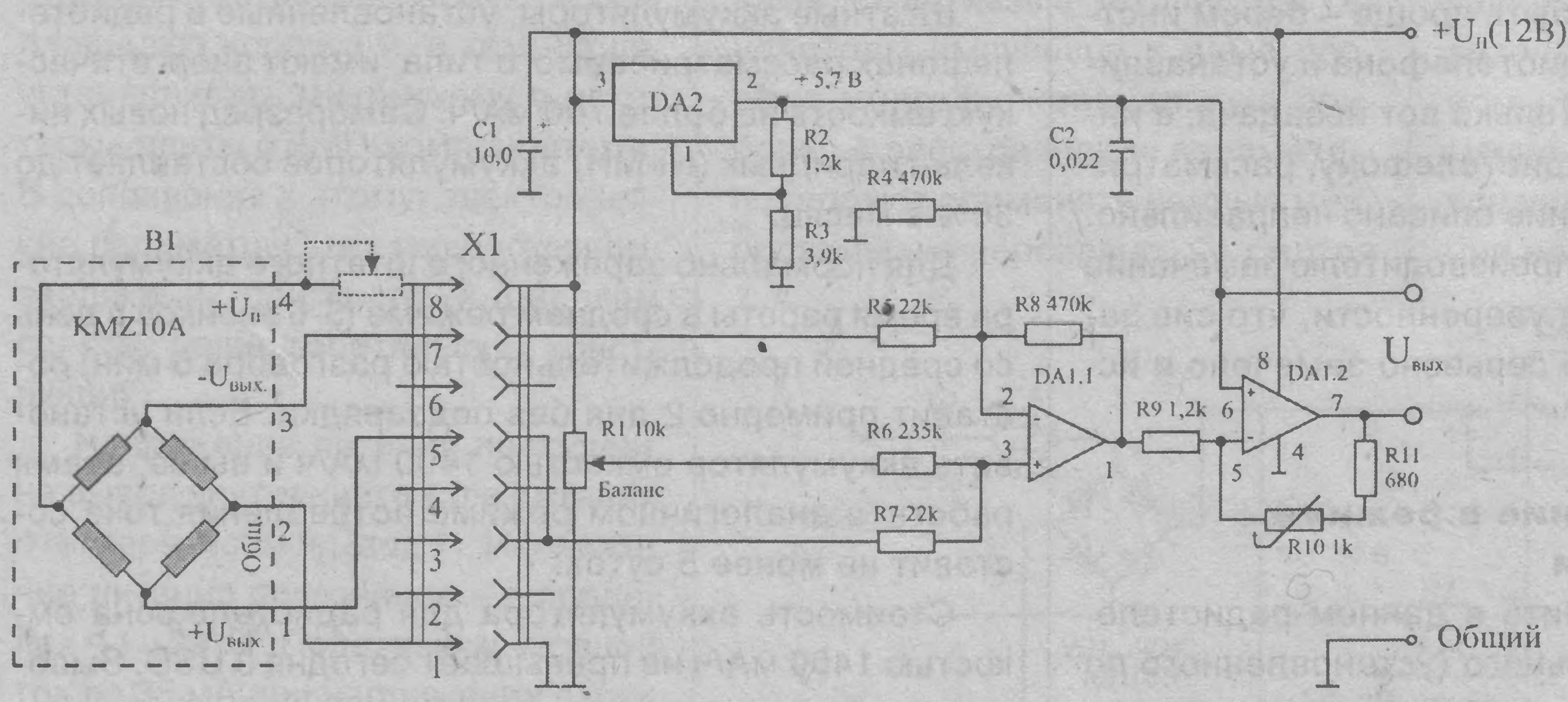


Рис. 50. Схема с термостабилизацией выходной характеристики, рекомендованная изготовителем моста KMZ10

Схема (**рис. 50**) работает следующим образом. Выходной сигнал с магниторезисторного моста B1 усиливается операционными усилителями DA1.1

и DA1.2. Кремниевый температурный датчик R10 (KTY 81), установленный в цепи обратной связи усилителя DA1.2, изменяет его усиление при изменении температуры окружающей среды [1, 2].

Выходная характеристики манипулятора при температуре от -25 и +40°С приведена на **рис. 51**.

5.2.2. Манипулятор с использованием моста KMZ41

В данном варианте манипулятора использован магниторезисторный мост типа KMZ41 фирмы Philips.

В качестве магниточувствительного элемента используется сдвоенный тонкопленочный магниторезисторный мост типа KMZ41, также выпускаемый фирмой Philips. Магнитные оси мостов KMZ41 повернуты на 45° относительно друг друга.

При вращении источника магнитного поля относительно плоскости KMZ41 сигналы ($U_{вых.1}$ и $U_{вых.2}$) мостов сдвигаются по фазе на 90°, что позволяет расширить диапазон контролируемых углов поворота. Сигналы на выходе мостов соответственно пропорциональны sin α и cos α [2, 4].

Выходная характеристика моста KMZ41 приведена на **рис. 52**.

Мост KMZ41 размещался на отдельной печатной плате (ПП). Для соединения с платой электроники ПП снабжена 8-ми контактным разъемом типа PLS. Габаритные размеры платы – 46х43х1,5 мм. Плата устанавливалась в “универсальную” конструкцию, внешний вид которой приведен на **рис. 47**.

Принципиальная электрическая схема и внешний вид платы приведены на **рис. 53**.

Для преобразования синусоидального (косинусоидального) сигнала в линейную функцию использовалась специализированная интегральная схема типа UZZ9000, выпускаемая фирмой Philips Semiconductors.

ИС UZZ9000 предназначена для построения датчиков угла поворота, использующих два преобразователя магнитного поля.

Интегральная схема типа UZZ9000 имеет достаточно сложную структуру. Она содержит два АЦП, один 13-ти разрядный ЦАП и другие необходимые узлы. В схеме используется специальный алгоритм обработки сигналов моста. Микросхема размещается в 24-х выводном корпусе типа SO24.

Электрическая схема манипулятора с использованием UZZ9000 приведена на **рис. 54** и не требует особых пояснений. Сигналы ($\pm U_{O1}$ и $\pm U_{O2}$) с мостов KMZ41 подаются на два раздельных входа микросхемы UZZ9000. На выход микросхемы поступает аналоговый сигнал, пропорциональный углу поворота управляющего магнита [1, 2, 4].

Микросхема UZZ9000 с необходимыми элементами размещалась на отдельной печатной плате (ПЭ). Для удобства работы микросхема DA1 сначала распаивалась на небольшую переходную плату, а затем устанавливалась на плату ПЭ.

ПЭ снабжена двумя разъемами (типа BLS и PLS), необходимыми для присоединения к плате преобразователя, и соединения устройства с внешними цепями.

Габаритные размеры ПЭ – 25х80х15 мм. Масса, не более 15 г.

Внешний вид платы электроники с использованием ИС типа UZZ9000 приведен на **рис. 55**.

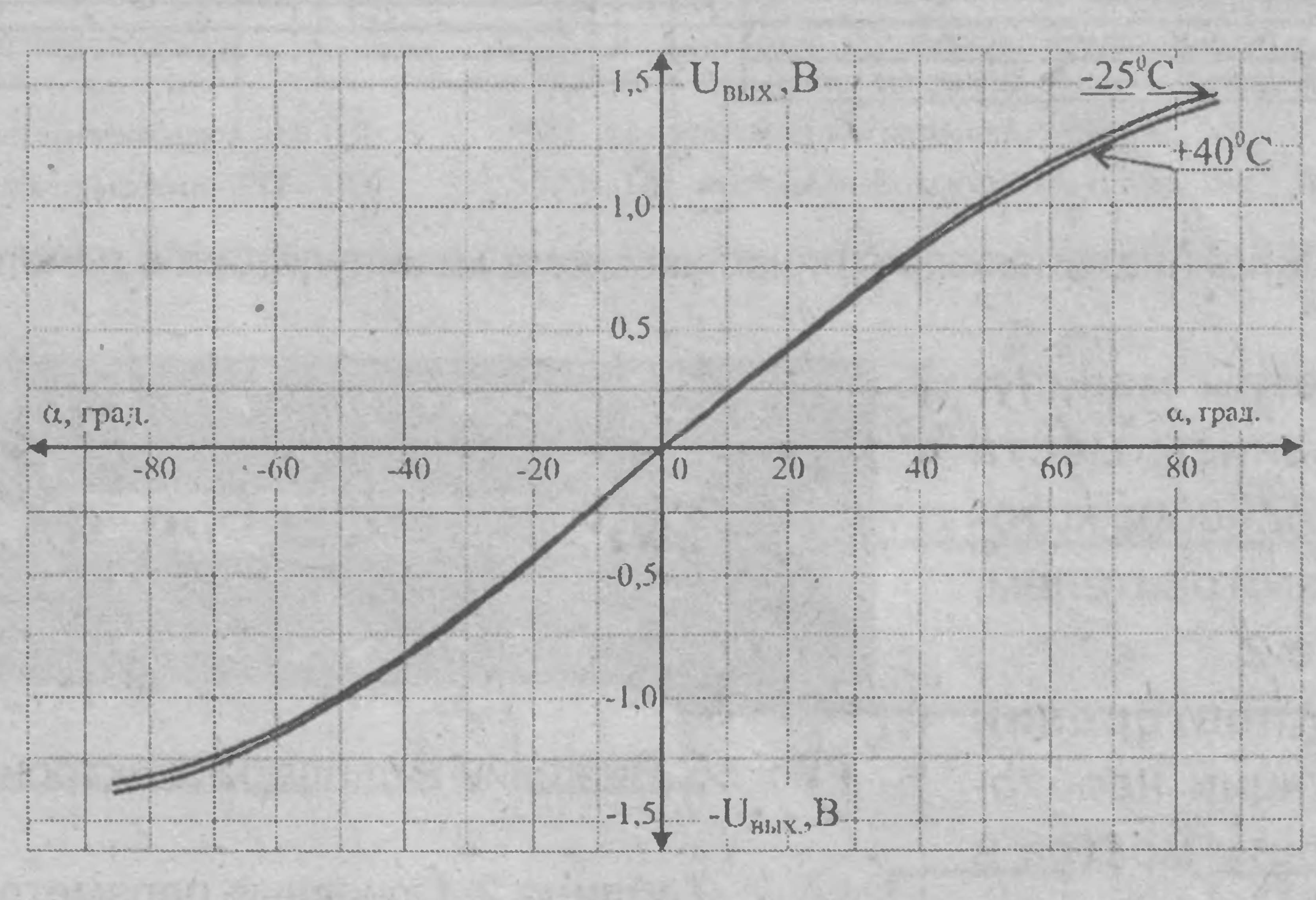
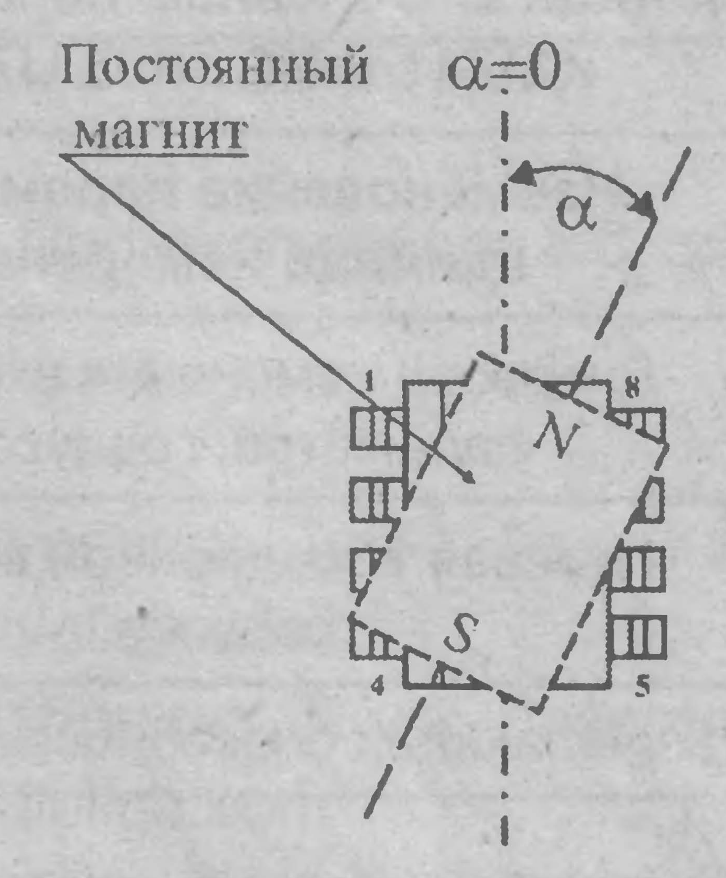
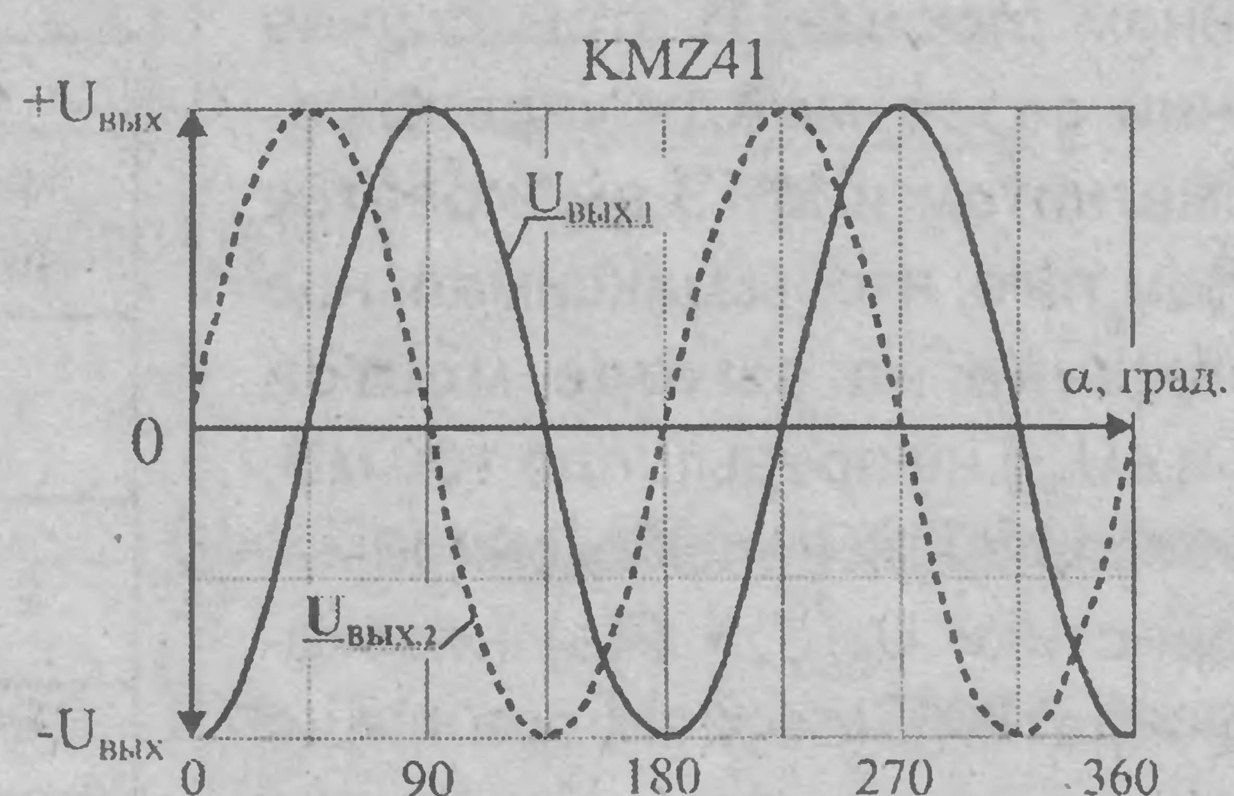


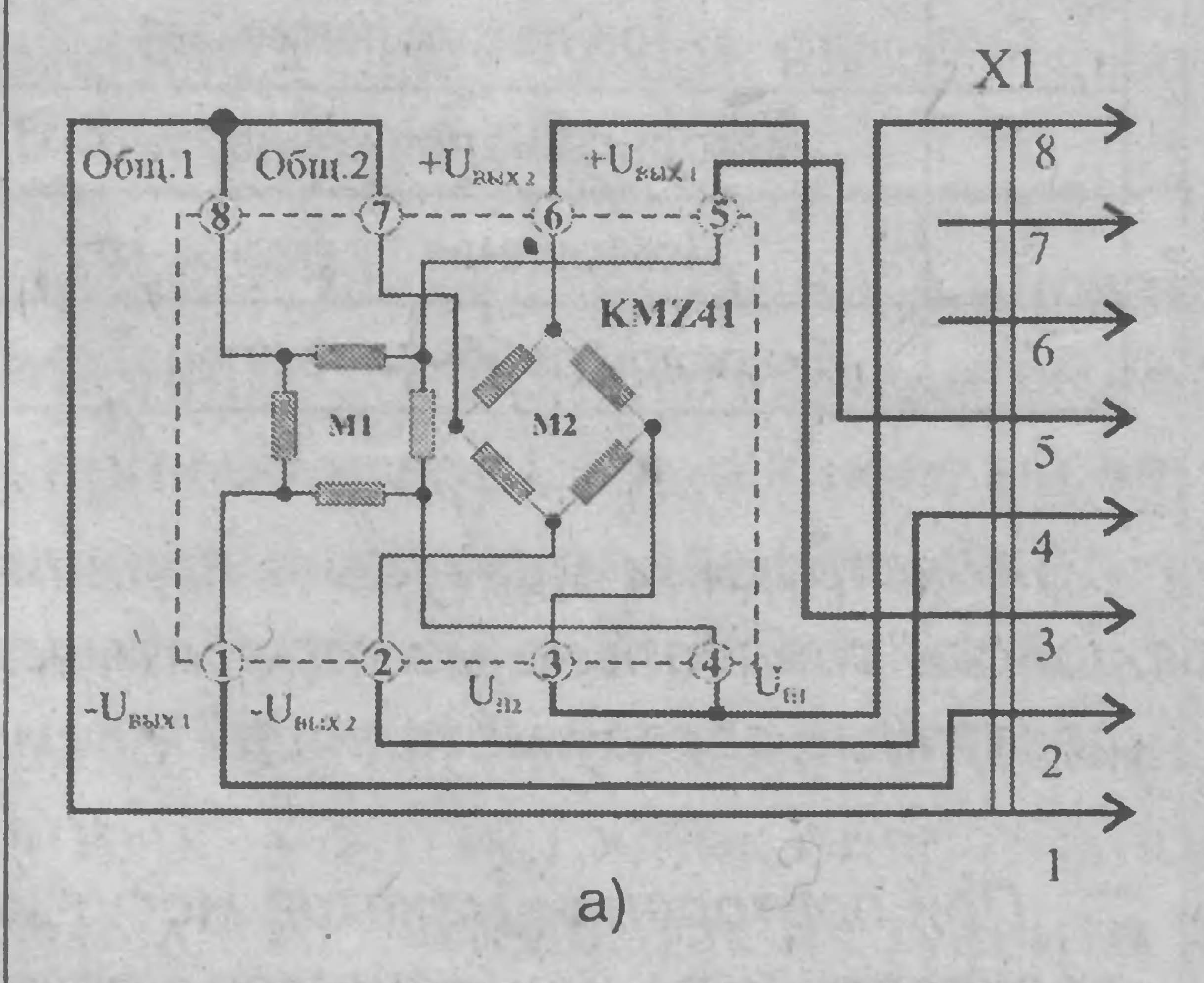
Рис. 51. Выходная характеристики манипулятора при температуре от -25 и +40°С



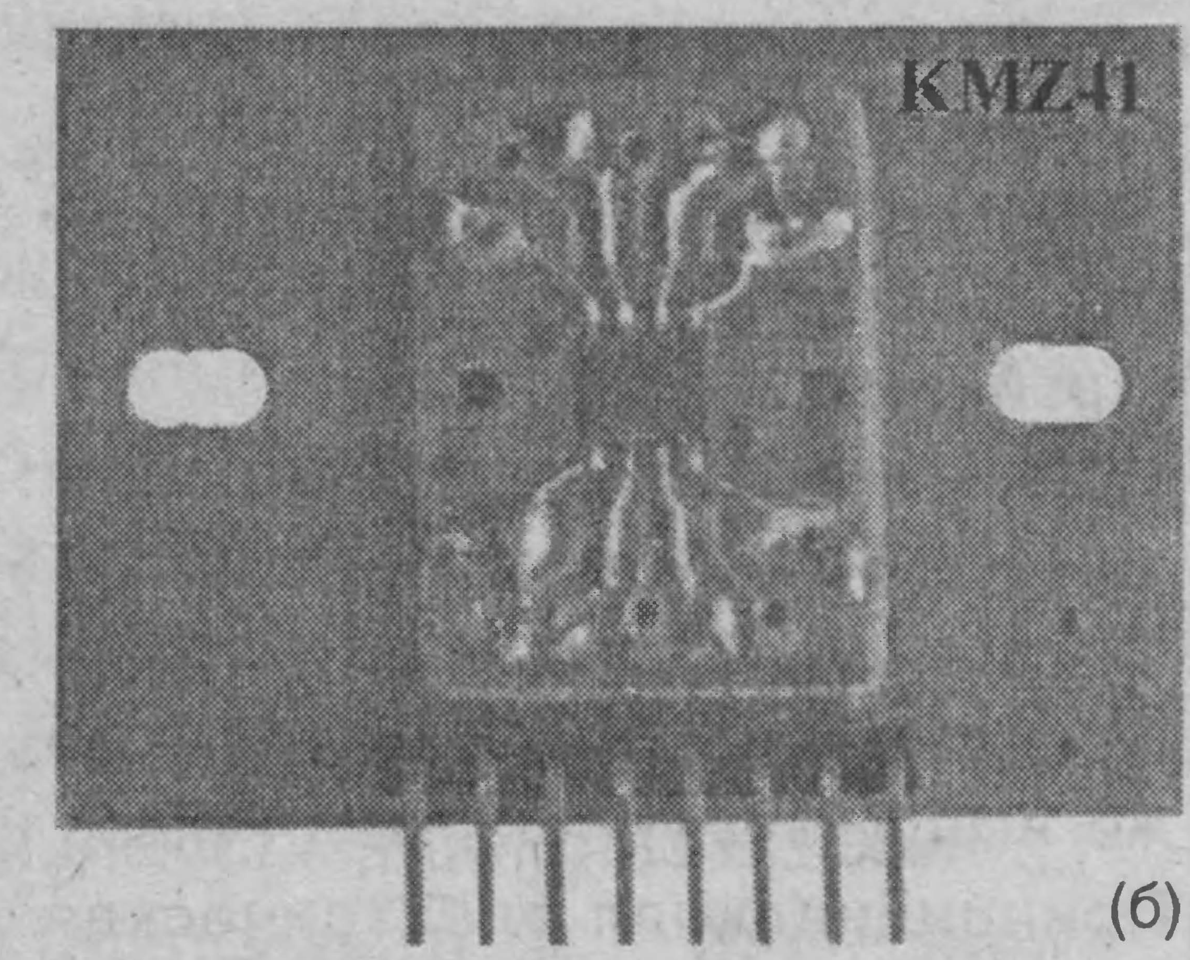


Форма выходного сигнала при повороте рукоятки на один оборот

Рис. 52. Выходная характеристика моста типа KMZ41

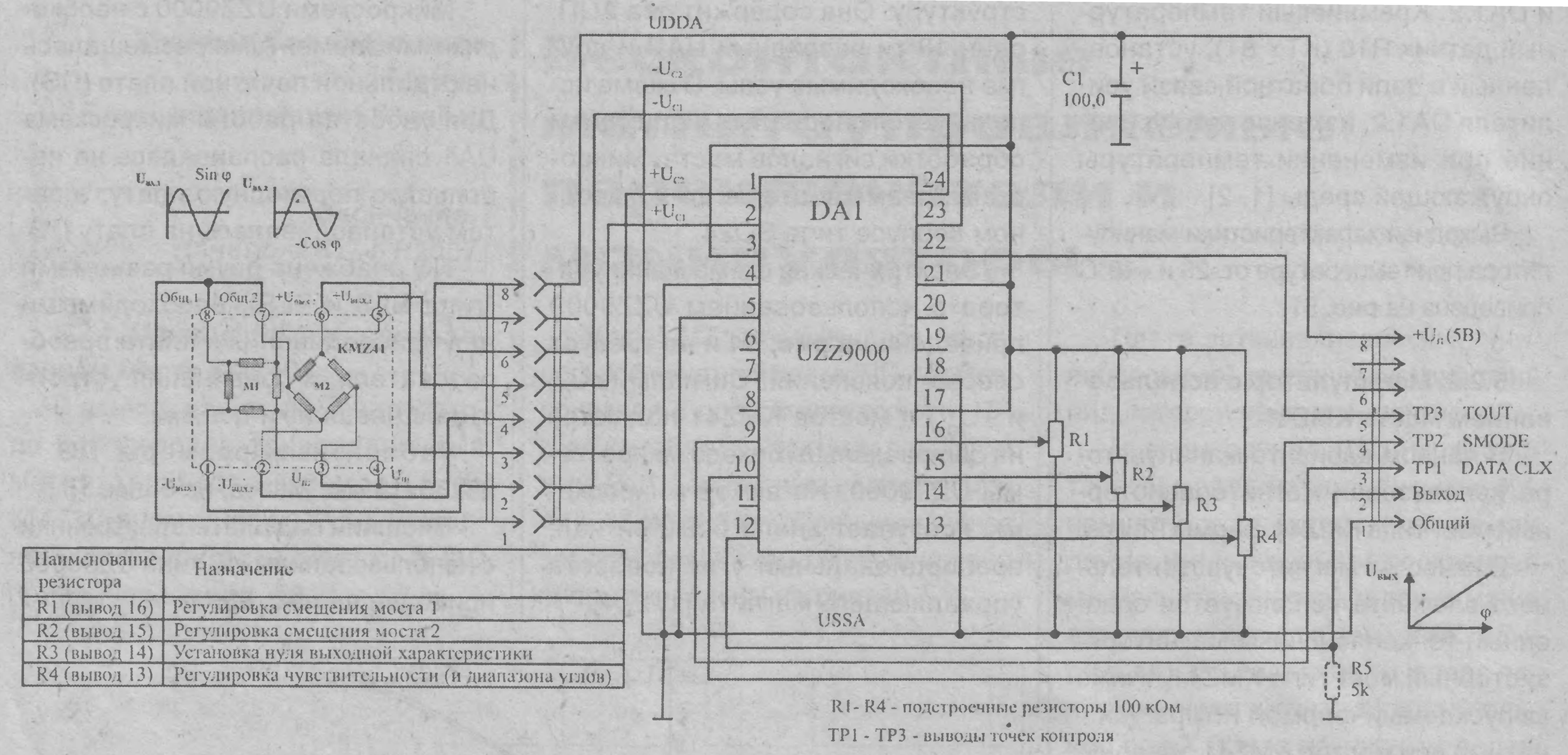


а)



(б)

Рис. 53. Принципиальная электрическая схема (а) и внешний вид (б) платы ПП с использованием моста KMZ41



Наименование резистора	Назначение
R1 (вывод 16)	Регулировка смещения моста 1
R2 (вывод 15)	Регулировка смещения моста 2
R3 (вывод 14)	Установка нуля выходной характеристики
R4 (вывод 13)	Регулировка чувствительности (и диапазона углов)

Рис. 54. Принципиальная электрическая схема манипулятора с использованием ИС типа UZZ9000

Основные параметры манипулятора с использованием моста KMZ41 и ИС типа UZZ9000, которые гарантируются изготовителем, приведены в **таблице 2**.

При возможном повторении приводимой конструкции необходимо обеспечить работу мостов в линейном режиме. В этом случае рабочий зазор между управляющим магнитом и МЧЭ выбирается с учетом того, чтобы максимальное напряжение на выходе мостов ($\pm U_{O1}$ и $\pm U_{O2}$) не превышало 100 мВ. Для обеспечения неискаженной характеристики $U_{ВЫХ} = F(a)$ необходимо тщательное изготовление узла вращения магнита, с целью обеспечения минимальных биений и максимального соблюдения соосности магнита и МЧЭ.

Следует отметить, что реализация параметров, приведенных в **таблице 2**, возможна только при тщательной отработке конструкции, сложной и трудоемкой настройке всего устройства.

При необходимости получения цифрового сигнала на выходе манипулятора можно использовать интегральную схему UZZ9001, также выпускаемую фирмой Philips. Принципиальная электрическая схема манипулятора со схемой UZZ9001 приведена на **рис. 56**, а протокол работы – на **рис. 57** [5].

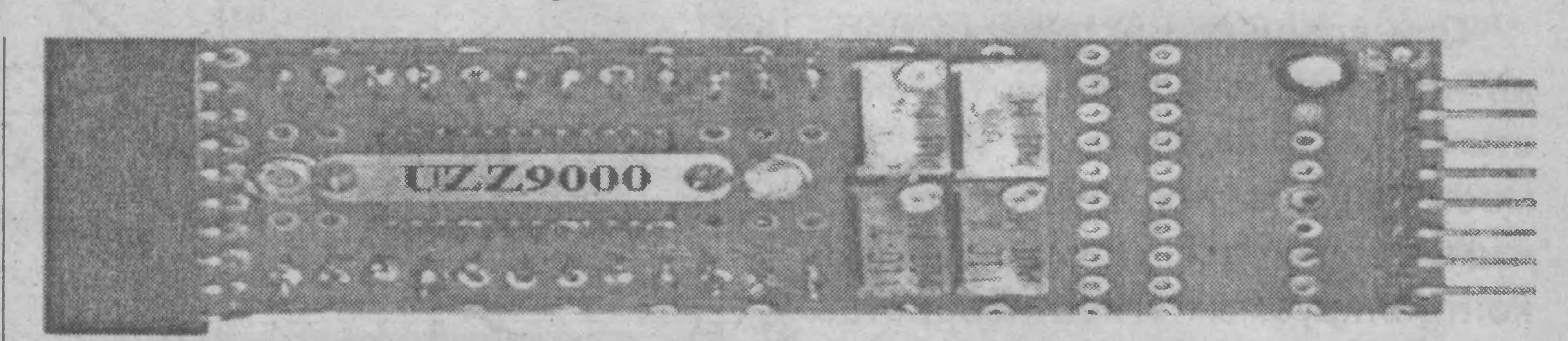


Рис. 55. Внешний вид платы электроники с использованием ИС типа UZZ9000

Таблица 2. Основные параметры манипулятора с использованием моста KMZ41 и ИС типа UZZ9000, которые гарантируются изготовителем

№ п/п	Наименование параметра, единица измерения	Диапазон значений
1	Диапазон изменения входного параметра, градусов	от 0 до 180 (корректируется по шагам 10°)
2	Нулевая точка кривой выхода, градусов	от -5 до +5 (корректируется по шагам 0,5°)
3	Разрешающая способность, градусов	0,05…1
4	Точность измерения углов, градусов, (в диапазоне)	±0,8 (в диапазоне 30°) ±1,0 (в диапазоне 100°) ±1,4 (в диапазоне 180°)
5	Напряжение питания, В	от 4,5 до 5,5
6	Ток потребления, мА	10
7	Выходное напряжение, % от $U_п$	от 5 до 55
8	Постоянная времени, мс	1,2
9	Диапазон рабочих температур, °C	-45…+140

Конструкции макетов и принципиальные схемы описываемых устройств специально не отрабатывались. Использовались подручные и доступные автору материалы и комплектующие элементы.

При повторении макетов могут использоваться аналогичные электрорадиоэлементы, находящиеся в распоряжении радиолюбителя. Тем более, что современная элементная база сегодня доступна, например, в магазинах фирм “Чип и Дип”, “Платан” и др., а также в Интернет-магазинах.

Наименование резистора	Назначение
R1 (вывод 16)	Регулировка смещения моста 1
R2 (вывод 15)	Регулировка смещения моста 2

R1, R2 - подстроечные резисторы 100 кОм

TP1 - TP3 - выводы точек контроля и управления

Рис. 56. Принципиальная электрическая схема манипулятора со схемой UZZ9001

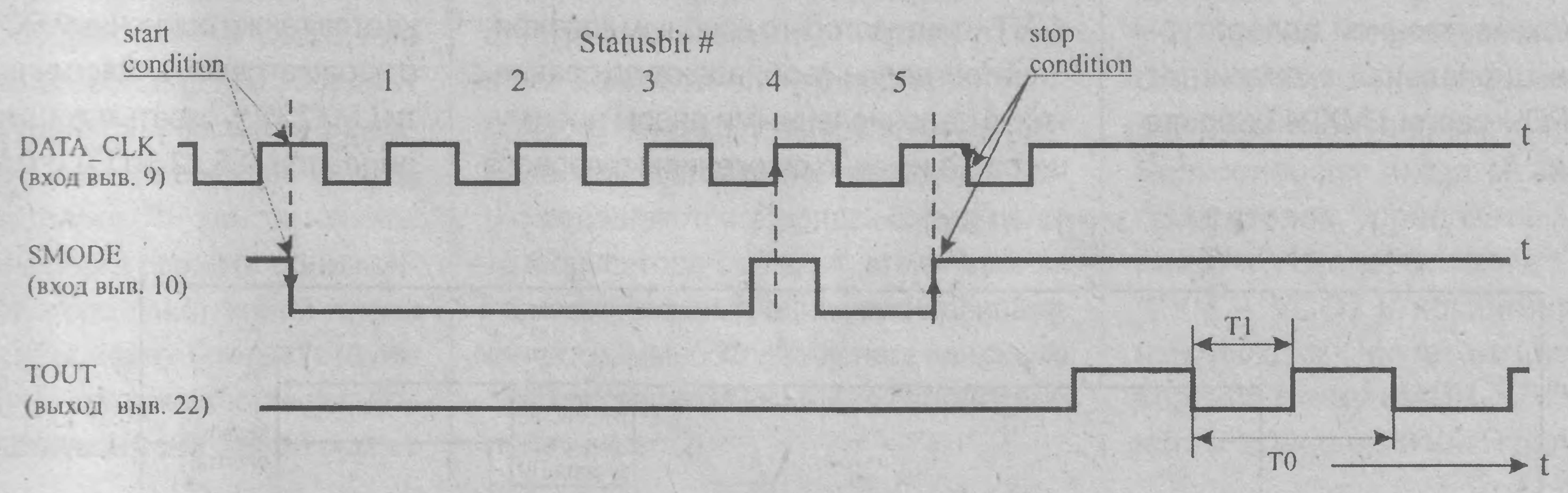


Рис. 57. Протокол работы ИС типа UZZ9001 [5]

Литература

1. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Том 1. Лазерный диск. - ДМК Пресс, г. Москва, 2002 г. Размещен на сайте журнала “Радиолюбитель”. www.radioliga.com

2. Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Том 2. Лазерный диск. - ДМК Пресс, г. Москва, 2002 г. Размещен на сайте журнала “Радиолюбитель”. www.radioliga.com

3. KMZ10A1 Magnetic field sensor. Product specification Supersedes data of 1996. File under Discrete Semiconductors, SC17. Philips Semiconductors. 12 p.

4. Daetmayer K., Wezer M. Contactless Angle Measurement using KMZ41 and UZZ9000. Systems Laboratory Hamburg. Germany. 2000. 52 p.

5. Contactless Angle Measurement using KMZ41 and UZZ9001. Philips Semiconductors. 2000. 50 p.